

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
Universidad del Perú, Decana de América

FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
UNIDAD DE POSGRADO
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN



**“EVALUACIÓN LIPÍDICA DE LA SEMILLA DE CHÍA (*Salvia hispánica* L.)
PARA EL APROVECHAMIENTO DEL ÁCIDO GRASO OMEGA-3”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE DOCTORA EN INGENIERÍA
INDUSTRIAL**

Por:

María Elizabeth Mosquera Quelal

LIMA - PERÚ

2018

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Situación Problemática	1
1.2 Formulación del Problema.....	2
1.2.1 <i>Problema General</i>	2
1.2.2 <i>Problemas Secundarios</i>	3
1.3 Justificación de la Investigación	3
1.3.1 <i>Justificación teórica</i>	3
1.3.2 <i>Justificación práctica</i>	4
1.4 Objetivos	6
1.4.1 <i>Objetivo General</i>	6
1.4.2 <i>Objetivos Específicos</i>	6
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	8
2.1 Marco filosófico o epistemológico de la investigación	8
2.1.1 <i>Una mirada a la historia de los saberes filosóficos</i>	9
2.1.2 <i>Corrientes epistemológicas del siglo XX</i>	11
2.1.3 <i>Consecuencias prácticas de los paradigmas epistemológicos</i>	13
2.2 Antecedentes de la Investigación.....	14
2.2.1 <i>La chía como fuente de omega-3</i>	14
2.2.2 <i>Caracterización de ácidos grasos omega-3</i>	23
2.3 Bases Teóricas	25
2.3.1 <i>La chía como fuente de omega-3</i>	25
2.3.2 <i>Extracción de la fracción grasa de la semilla</i>	30
2.3.3 <i>Caracterización de ácidos grasos omega-3</i>	33
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA.....	38
3.1 Hipótesis y variables.....	38
3.1.1 <i>Hipótesis general</i>	38

3.1.2 Hipótesis específicas	38
3.1.2.1 La identificación y cuantificación específica del ácido graso omega-3 presente en la fracción grasa de la semilla de chía de tres orígenes, permite su aprovechamiento a nivel industrial.....	38
3.1.2.2 El contenido de ácido graso omega-3 presente en la fracción grasa, depende del origen de la semilla de chía.....	39
3.1.2.3 La semilla de chía con mayor contenido de ácido graso omega-3, puede recomendarse para su aprovechamiento en la industria de productos panificables.....	39
3.1.3 <i>Identificación de variables</i>	39
3.2 Tipo y Diseño de la Investigación.....	40
3.2.1 <i>Unidad de análisis</i>	41
3.2.2 <i>Población de estudio</i>	41
3.2.3 <i>Tamaño de la muestra</i>	42
3.2.4 <i>Técnicas de recolección de datos</i>	42
3.2.5 <i>Análisis e interpretación de la información</i>	43
3.3 Caracterización del área de estudio	44
3.3.1 <i>Ubicación</i>	44
3.4 Operacionalización de variables.....	44
3.4.1 <i>Fase preliminar</i>	46
3.4.1.1 Análisis proximal de la semilla	46
3.4.2 <i>Fase experimental</i>	47
3.4.2.1 Análisis del peso (g) de la semilla	47
3.4.2.2 Análisis de humedad	49
3.4.2.3 Análisis de la fracción lipídica de la semilla	51
3.4.2.3.1 Acondicionamiento de la semilla.....	51
3.4.2.4 Análisis del contenido de proteína de la semilla (g)	64
3.4.2.5 Análisis de minerales de la semilla de chía (mg).....	68
CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	70
4.1 Propiedades físico-químicas de la semilla de chía.....	71
4.1.1 <i>Fase exploratoria</i>	71
4.1.1.1 Perfil bioquímico	71
4.1.2 <i>Fase experimental</i>	72

4.1.2.1	Peso de la semilla (g)	72
4.1.2.2	Análisis de humedad (%) de la semilla.....	75
4.2	Composición bioquímica de la semilla de chía	77
4.2.1	<i>Extracción de la fracción lipídica (%) de la semilla</i>	77
4.2.2	<i>Caracterización de la fracción lipídica de la semilla de chía</i>	81
4.2.2.1	Evaluación de los ácidos grasos saturados (%)	81
4.2.2.2	Evaluación de los ácidos grasos insaturados (%)	93
4.2.3	Análisis de la proteína (%) de la semilla de chía	114
4.2.4	Análisis de la fracción de minerales (%) de la semilla de chía	117
4.3	Contraste de hipótesis del estudio	120
4.3.1	<i>Hipótesis 1</i>	120
4.3.2	<i>Hipótesis 2</i>	120
4.3.3	<i>Hipótesis 3</i>	121
4.4	Comparación entre los resultados obtenidos de las dos fases del estudio.....	121
4.5	Implicaciones de la aplicabilidad de la caracterización de la semilla de chía en la línea de panificación de la industria alimentaria.....	123
4.5.1	<i>Subproductos semielaborados obtenidos a partir de la semilla de chía</i>	124
4.5.2	<i>Incorporación de la semilla de chía en la línea de producción de alimentos panificables</i>	125
4.5.3	<i>Aprovechamiento del ácido graso omega-3 en el diseño de productos panificables</i>	130
V.	CONCLUSIONES	136
VI.	RECOMENDACIONES	139
VII.	REFERENCIAS	141
VIII.	ANEXOS	151

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1.</i> Ácidos grasos omega-3 de varias fuentes alimentarias.....	15
<i>Tabla 2.</i> Contenido de ácido graso ALA en fuentes vegetales (g/100g).	17
<i>Tabla 3.</i> Contenido de omega-3 en diferentes especies de peces (g/100g)	19
<i>Tabla 4.</i> Contenido de omega-3 de fuentes vegetales y animales (g/100g)	22
<i>Tabla 5.</i> Composición nutricional de la semilla de chía (g/100g)	25
<i>Tabla 6.</i> Contenido de ácidos grasos abundantes en la semilla de chía	26
<i>Tabla 7.</i> Ácidos grasos omega y su contenido en la chía	26
<i>Tabla 8.</i> Variables evaluadas por tratamiento en las fases de estudio (2015 y 2017).....	45
<i>Tabla 9.</i> Métodos aplicados para el análisis proximal de la semilla de chía 2015	47
<i>Tabla 10.</i> Perfil bioquímico (%) de la semilla de chía en dos localidades de la Sierra ecuatoriana, 2015.....	72
<i>Tabla 11.</i> Datos para análisis de peso de la semilla	73
<i>Tabla 12.</i> Análisis de varianza del peso (g) de semillas de chía provenientes de dos localidades y una semilla Testigo, 2016.....	73
<i>Tabla 13.</i> Promedios, desviación estándar y prueba de Tukey (5 %) del peso (g) de la semilla de chía proveniente de dos localidades y una semilla Testigo, 2016.....	74
<i>Tabla 14.</i> Datos para análisis de humedad de la semilla de chía	75
<i>Tabla 15.</i> Análisis de varianza de la humedad de semillas de chía (%) provenientes de dos localidades y una semilla Testigo, 2016.	76
<i>Tabla 16.</i> Promedios, desviación estándar y prueba de Tukey (5 %) de la humedad (%) de semillas de chía de dos localidades y una semilla Testigo, 2016.....	76
<i>Tabla 17.</i> Datos para análisis de la fracción grasa de la semilla.....	78
<i>Tabla 18.</i> Análisis de varianza de la grasa de semillas de chía provenientes de dos localidades y una semilla Testigo, 2016.....	78
<i>Tabla 19.</i> Promedios, desviación estándar y prueba de Tukey (5 %) de la grasa (%) de la semilla de chía de dos localidades y una semilla Testigo, 2016...	79
<i>Tabla 20.</i> Datos para el análisis de los ácidos grasos saturados (%). Grupo 1.	81
<i>Tabla 21.</i> Análisis de varianza de los ácidos grasos saturados (Grupo 1), presentes en la semilla de chía provenientes de dos localidades y una semilla Testigo, 2016.	82
<i>Tabla 22.</i> Promedios, desviación estándar y prueba de Tukey (5 %) de los ácidos grasos saturados (%) del Grupo 1 de la semilla de chía, 2016.	83
<i>Tabla 23.</i> Datos para el análisis de los ácidos grasos saturados (%). Grupo 2.	85

<i>Tabla 24.</i> Análisis de varianza de los ácidos grasos saturados (Grupo 2), presentes en la semilla de chía provenientes de dos localidades y una semilla Testigo, 2016.	87
<i>Tabla 25.</i> Promedios, desviación estándar y prueba de Tukey (5 %) de los ácidos grasos saturados (%) del Grupo 2 de la semilla de chía de dos localidades y una semilla Testigo, 2016.	87
<i>Tabla 26.</i> Datos para el análisis de los ácidos grasos behénico y cis-11-eicosenoico (%).	90
<i>Tabla 27.</i> Análisis de varianza de los ácidos grasos cis-11-eicosenoico y behénico, presentes en la semilla de chía proveniente de dos localidades y una semilla Testigo, 2016.	91
<i>Tabla 28.</i> Promedios, desviación estándar y prueba de Tukey (5 %) de los ácidos grasos cis-11-eicosenoico y behénico (%) de la semilla de chía de dos localidades y una semilla Testigo, 2016.	91
<i>Tabla 29.</i> Datos para el análisis de los ácidos grasos monoinsaturados (%).	94
<i>Tabla 30.</i> Análisis de varianza de los ácidos grasos monoinsaturados presentes en la semilla de chía provenientes de dos localidades y una semilla Testigo, 2016.	95
<i>Tabla 31.</i> Promedios, desviación estándar y prueba de Tukey (5 %) de los ácidos grasos monoinsaturados (%) de la semilla de chía de dos localidades y una semilla Testigo, 2016.	95
<i>Tabla 32.</i> Datos transformados para el análisis de los ácidos grasos erúcido y nervónico (%).	97
<i>Tabla 33.</i> Análisis de varianza de los ácidos grasos erúcido y nervónico presentes en la semilla de chía provenientes de dos localidades y una semilla Testigo, 2016.	98
<i>Tabla 34.</i> Datos originales para el análisis de los ácidos grasos erúcido y nervónico (%).	98
<i>Tabla 35.</i> Promedios, desviación estándar y prueba de Tukey (5 %) de los ácidos erúcido y nervónico (%) de la semilla de chía de dos localidades y una semilla Testigo, 2016.	99
<i>Tabla 36.</i> Datos para el análisis de ácidos grasos poliinsaturados (%). Grupo 1.	101
<i>Tabla 37.</i> Análisis de varianza de los ácidos grasos polinsaturados (Grupo 1) presentes en la semilla de chía provenientes de dos localidades y una semilla Testigo, 2016.	102
<i>Tabla 38.</i> Promedios, desviación estándar y prueba de Tukey (5 %) de los ácidos grasos polinsaturados (%) del Grupo 1 de la semilla de chía de dos localidades y una semilla Testigo, 2016.	102
<i>Tabla 39.</i> Datos iniciales para el análisis estadístico de los ácidos grasos polinsaturados (%). Grupo 2.	107

<i>Tabla 40.</i> Análisis de varianza de los ácidos grasos polinsaturados Grupo 2 presentes en la semilla de chía provenientes de dos localidades y una semilla Testigo, 2016.	108
<i>Tabla 41.</i> Promedios, desviación estándar y prueba de Tukey (5 %) de los ácidos grasos polinsaturados (%) del Grupo 2 de la semilla de chía de dos localidades y una semilla Testigo, 2016.	108
<i>Tabla 42.</i> Datos iniciales para el análisis estadístico de la variable proteína (%).	114
<i>Tabla 43.</i> Análisis de varianza de la variable proteína presente en la semilla de chía proveniente de dos localidades y una semilla Testigo, 2016.	114
<i>Tabla 44.</i> Promedios, desviación estándar y prueba de Tukey (5 %) de la variable proteína (%) de la semilla de chía proveniente de dos localidades y una semilla Testigo, 2016.	115
<i>Tabla 45.</i> Datos iniciales para el análisis estadístico de la variable cenizas (%).	117
<i>Tabla 46.</i> Análisis de varianza de la variable cenizas presente en la semilla de chía proveniente de dos localidades y una semilla Testigo, 2016.	118
<i>Tabla 47.</i> Promedios, desviación estándar y prueba de Tukey (5 %) de la variable cenizas (%) de la semilla de chía proveniente de dos localidades y una semilla Testigo, 2016.	118
<i>Tabla 48.</i> Valores de las variables analizadas en las dos fases del estudio en las zonas de Colta, Cotacachi y en la semilla Testigo.	122
<i>Tabla 49.</i> Propiedades nutricionales del pan elaborado con harina de chía frente al pan de harina de trigo.	129
<i>Tabla 50.</i> Ácidos grasos presentes (%) en el pan de harina de chía frente al pan de harina de trigo.	130
<i>Tabla 51.</i> Comparación del perfil nutricional de pan desarrollado con varios subproductos de chía y el pan testigo.	135

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Planta de chía. <i>Fuente.</i> (Di Sapio, Bueno, Busilacchi, & Severin, 2008).....	14
<i>Figura 2.</i> Semilla de chía. <i>Fuente.</i> (Di Sapio, Bueno, Busilacchi, & Severin, 2008).....	15
<i>Figura 3.</i> Estructura del ácido linolénico, ALA. <i>Fuente.</i> (Araneda, 2016).....	16
<i>Figura 4.</i> Estructura del ácido eicosapentaenoico, EPA. <i>Fuente.</i> (Scientia, 2011).....	16
<i>Figura 5.</i> Estructura del ácido docosahexaenoico, DHA. <i>Fuente.</i> (Valenzuela R. , 2015).....	17
<i>Figura 6.</i> Semillas de chía negra y blanca. <i>Fuente.</i> Adaptado de (Sitemap, 2017).....	22
<i>Figura 7.</i> Esquema del principio de la cromatografía de gases. <i>Fuente.</i> (Ávila, 2017).....	24
<i>Figura 8.</i> Sistema de extracción Soxhlet. <i>Fuente.</i> (Nuñez, 2008).....	31
<i>Figura 9.</i> Cromatógrafo de gases con detector FID. <i>Fuente.</i> (TUBCA, 2015).	35
<i>Figura 10.</i> Perfil cromatográfico de ácidos grasos presentes en el aceite de semillas chía. <i>Fuente.</i> (Gutiérrez, y otros, 2014).	37
<i>Figura 11.</i> Muestra de 1000 semillas de la localidad de Colta. <i>Fuente.</i> Elaboración propia.	48
<i>Figura 12.</i> Muestra de 1000 semillas de la localidad de Cotacachi. <i>Fuente.</i> Elaboración propia.	48
<i>Figura 13.</i> Muestra de 1000 granos de la semilla Testigo. <i>Fuente.</i> Elaboración propia.	49
<i>Figura 14.</i> Determinación de la humedad de las muestras de semilla de chía de los tres orígenes. <i>Fuente.</i> Elaboración propia.....	50
<i>Figura 15.</i> Harina de semilla de chía de molienda gruesa. <i>Fuente.</i> Elaboración propia.	52
<i>Figura 16.</i> Muestras de harina de chía de los tres orígenes. <i>Fuente.</i> Elaboración propia.	52
<i>Figura 17.</i> Balones acondicionados para la extracción de aceite por Soxhlet. <i>Fuente.</i> Elaboración propia.	54
<i>Figura 18.</i> Muestras de harina de chía en los extractores Soxhlet. <i>Fuente.</i> Elaboración propia.	54
<i>Figura 19.</i> Muestras de aceite obtenidas de la extracción por Soxhlet. <i>Fuente.</i> Elaboración propia.	55
<i>Figura 20.</i> Adición de KOH a muestras de aceite. <i>Fuente.</i> Elaboración propia.	58
<i>Figura 21.</i> Adición de HCl a las muestras de aceite. <i>Fuente.</i> Elaboración propia.	58

<i>Figura 22.</i> Fase orgánica extraída después del baño María. <i>Fuente.</i> Elaboración propia.....	59
<i>Figura 23.</i> Muestras en tubos secadas con N. <i>Fuente.</i> Elaboración propia.	60
<i>Figura 24.</i> Cromatógrafo de gases con detector FID. <i>Fuente.</i> Elaboración propia.....	60
<i>Figura 25.</i> Inyector del cromatógrafo de gases. <i>Fuente.</i> Elaboración propia.	61
<i>Figura 26.</i> Acople del inyector a la plataforma de inyección. <i>Fuente.</i> Elaboración propia.	62
<i>Figura 27.</i> Muestras listas para la inyección. <i>Fuente.</i> Elaboración propia. ..	62
<i>Figura 28.</i> Inyección de muestras para la separación de ácidos grasos. <i>Fuente.</i> Elaboración propia.....	63
<i>Figura 29.</i> Muestra en tubos de digestión. <i>Fuente.</i> Elaboración propia.	65
<i>Figura 30.</i> Adición de ácido sulfúrico en las muestras. <i>Fuente.</i> Elaboración propia.....	65
<i>Figura 31.</i> Tubos en el interior del digestor. <i>Fuente.</i> Elaboración propia.....	66
<i>Figura 32.</i> Titulador Keldhal. <i>Fuente.</i> Elaboración propia.	67
<i>Figura 33.</i> Cenizas obtenidas de la calcinación de las muestras de semilla de chí. <i>Fuente.</i> Elaboración propia.	69
<i>Figura 34.</i> Peso de la semilla por tratamiento. <i>Fuente.</i> Elaboración propia.	75
<i>Figura 35.</i> Humedad de la semilla por tratamiento. <i>Fuente.</i> Elaboración propia.	77
<i>Figura 36.</i> Grasa de la semilla por tratamiento. <i>Fuente.</i> Elaboración propia.	80
<i>Figura 37.</i> Presencia de ácido mirístico por tratamiento. <i>Fuente.</i> Elaboración propia.....	84
<i>Figura 38.</i> Presencia de ácido pentadecanoico por tratamiento. <i>Fuente.</i> Elaboración propia.	84
<i>Figura 39.</i> Presencia de ácido heptadecanoico por tratamiento. <i>Fuente.</i> Elaboración propia.	85
<i>Figura 40.</i> Presencia de ácido esteárico por tratamiento. <i>Fuente.</i> Elaboración propia.....	88
<i>Figura 41.</i> Presencia de ácido palmítico por tratamiento. <i>Fuente.</i> Elaboración propia.....	88
<i>Figura 42.</i> Presencia de ácido araquídico por tratamiento. <i>Fuente.</i> Elaboración propia.....	89
<i>Figura 43.</i> Presencia de ácido tricosanoico por tratamiento. <i>Fuente.</i> Elaboración propia.....	89
<i>Figura 44.</i> Presencia de ácido cis-11-ecosenoico por tratamiento. <i>Fuente.</i> Elaboración propia.....	92
<i>Figura 45.</i> Presencia de ácido behénico por tratamiento. <i>Fuente.</i> Elaboración propia.....	93
<i>Figura 46.</i> Presencia de ácido erúxico por tratamiento. <i>Fuente.</i> Elaboración propia.....	100

<i>Figura 47.</i> Presencia de ácido nervónico por tratamiento. <i>Fuente.</i> Elaboración propia.....	100
<i>Figura 48.</i> Presencia de ácido linolelaídico por tratamiento. <i>Fuente.</i> Elaboración propia.....	105
<i>Figura 49.</i> Presencia de ácido linoleico por tratamiento. <i>Fuente.</i> Elaboración propia.....	105
<i>Figura 50.</i> Presencia de ácido alfa-linoleico por tratamiento. <i>Fuente.</i> Elaboración propia.....	106
<i>Figura 51.</i> Presencia de ácido linolénico por tratamiento. <i>Fuente.</i> Elaboración propia.....	106
<i>Figura 52.</i> Presencia de ácido cis-11-14-eicosadienoico por tratamiento. <i>Fuente.</i> Elaboración propia.....	109
<i>Figura 53.</i> Presencia de ácido cis-11-14-17-eicosatrienoico por tratamiento. <i>Fuente.</i> Elaboración propia.....	110
<i>Figura 54.</i> Presencia de ácido metilcis-5-8-11-14-eicosatetraenoico por tratamiento. <i>Fuente.</i> Elaboración propia.....	110
<i>Figura 55.</i> Presencia de ácido cis-11-16-docosadienoico por tratamiento. <i>Fuente.</i> Elaboración propia.....	111
<i>Figura 56.</i> Proteína de la semilla de chía por tratamiento. <i>Fuente.</i> Elaboración propia.....	116
<i>Figura 57.</i> Presencia de minerales por tratamiento. <i>Fuente.</i> Elaboración propia.....	119
<i>Figura 58.</i> Flujo de proceso de la elaboración de pan con harina de chía. <i>Fuente.</i> Elaboración propia.....	133

ÍNDICE DE ANEXOS

<i>Anexo 1. Resultados del perfil bioquímico de la semilla proveniente de Cotacachi, 2014.</i>	151
<i>Anexo 2. Resultados del perfil bioquímico de la semilla proveniente de Colta, 2015.</i>	152
<i>Anexo 3. Resultados del perfil bioquímico de la semilla de chía proveniente de las localidades de Cotacachi, Colta y la semilla Testigo, 2017.</i>	153
<i>Anexo 4. Resultados de humedad y cenizas de la semilla de chía proveniente de Cotacachi, Colta y la muestra Testigo, 2017.</i>	154
<i>Anexo 5. Resultados del perfil de ácidos grasos presentes en la semilla de chía provenientes de Cotacachi, Colta y la muestra Testigo, 2017.</i>	155
<i>Anexo 6. Cromatograma del perfil de ácidos grasos de la semilla de chía provenientes de Colta, 2017.</i>	156
<i>Anexo 7. Cromatograma del perfil de ácidos grasos de la semilla de chía provenientes de Cotacachi, 2017.</i>	156
<i>Anexo 8. Cromatograma del perfil de ácidos grasos de la muestra de chía de la semilla Testigo, 2017.</i>	157
<i>Anexo 9. Secuencia de comandos utilizados para el análisis estadístico en el programa Infostat/L.</i>	157
<i>Anexo 10. Pruebas de Normalidad para verificación de ANOVA de las variables en estudio.</i>	158
<i>Anexo 11. Pruebas de Normalidad para verificación de ANOVA para el ácido linolénico (omega-3).</i>	158
<i>Anexo 12. Gráfico de Normalidad para la variable Peso de la semilla de chía de los tres orígenes.</i>	159
<i>Anexo 13. Gráfico de cajas para la variable Peso de la semilla de chía de los tres orígenes.</i>	160
<i>Anexo 14. Gráfico de Normalidad para la variable Humedad de la semilla de chía de los tres orígenes.</i>	161
<i>Anexo 15. Gráfico de cajas para la variable Humedad de la semilla de chía de los tres orígenes.</i>	162
<i>Anexo 16. Gráfico de Normalidad para la variable Grasa de la semilla de chía de los tres orígenes.</i>	163
<i>Anexo 17. Gráfico de cajas para la variable Grasa de la semilla de chía de los tres orígenes.</i>	164
<i>Anexo 18. Gráfico de Normalidad para la variable Proteína de la semilla de chía de los tres orígenes.</i>	165
<i>Anexo 19. Gráfico de cajas para la variable Proteína de la semilla de chía de los tres orígenes.</i>	166
<i>Anexo 20. Gráfico de Normalidad para la variable Cenizas de la semilla de chía de los tres orígenes.</i>	167
<i>Anexo 21. Gráfico de cajas para la variable Cenizas de la semilla de chía de los tres orígenes.</i>	168

RESUMEN

La planta denominada chía (*Salvia hispanica* L.) es considerada una de las más representativas entre las culturas ancestrales mesoamericanas. Varias investigaciones han dado a conocer los aportes de la semilla cuya riqueza en ácido linolénico (omega-3), la destaca como la fuente vegetal con un importante factor que forma parte de un interesante complejo lipídico relacionado con la función cardiovascular. El presente estudio evaluó semillas provenientes de tres orígenes, dos localidades de la sierra ecuatoriana, Colta y Cotacachi y una semilla en presentación comercial como Testigo; la evaluación se realizó en dos fases de análisis del perfil nutricional. En la primera fase se evaluó, de forma preliminar, la semilla de las dos localidades y, en una fase posterior, se aplicaron pruebas experimentales a la semilla de los tres orígenes con la evaluación de la concentración de grasa, contenido de ácidos grasos, concentración de proteína, minerales, peso y humedad para establecer comparaciones y definir la semilla de interés según los objetivos de estudio. El primer objetivo, se basó en la caracterización de la grasa de la semilla de los tres orígenes. El segundo, en la identificación de la relación entre el contenido de omega-3 y el origen de la semilla y, el tercero, en la selección del material de chía más abundante en omega-3 para la recomendación de su cultivo y aprovechamiento industrial en la línea de panificación. Los ácidos grasos encontrados en la semilla de los tres orígenes fueron: linolénico (omega-3), linoleico (omega-6) y oleico (omega-9) y, entre los saturados, los ácidos palmítico y esteárico. La relación entre el contenido de omega-3 y el origen de la semilla se fundamentó en el factor temperatura de la zona de cultivo, donde, el incremento de la temperatura ambiental incidió en el incremento del contenido de ácidos grasos insaturados; la semilla proveniente de Cotacachi, mostró el contenido más alto en omega-3 con 66.05 % y la semilla Testigo el menor, 62.73 %. Finalmente, la aplicación de la semilla de chía, según análisis de la literatura revisada, representó una alternativa para el desarrollo de productos farináceos de características nutricionales, organolépticas y tecnológicas superiores a los productos elaborados con base en ingredientes convencionales en la citada línea de producción.

ABSTRACT

The plant called chia (*Salvia hispanica* L.) is considered one of the most representative plants among mesoamerican ancestral cultures. Several researches have released the contributions of the chia seed whose richness in linolenic acid (omega-3), stands out as the most important vegetable source with an important factor that becomes part of an interesting lipid complex related to the metabolism that regulates the cardiovascular function. The present study evaluated the chia seed from three origins, two localities of the Ecuadorian highlands, Colta and Cotacachi and one seed in a commercial presentation as Witness; the evaluation was carried out in two phases of nutritional profile analysis. In the first phase, the seed of the two locations was preliminarily evaluated and, in the subsequent phase, experimental tests were applied to the seed of the three origins with the evaluation of fat concentration, fatty acid content, concentration of protein, minerals, weight and humidity to establish comparisons and define the seed of interest according to the study objectives. The first objective was based on the characterization of the fat of the seed of the three origins. The second was the identification of the relationship between the content of omega-3 and the origin of the seed, and the third objective was based on the selection of the most abundant chia material in omega-3 for the recommendation of its cultivation and industrial use in the bakery line. The fatty acids found in the seed of the three origins were: linolenic (omega-3), linoleic (omega-6) and oleic (omega-9) and, among the saturated, palmitic and stearic acids. The relationship between the content of omega-3 and the origin of the seed was based on the temperature factor of the cultivation area, where, the increase of the environmental temperature affected the content increase of unsaturated fatty acids; the seed coming from Cotacachi, showed the highest content in omega-3 with 66.05% and the Witness seed the lowest, 62.73%. Finally, the application of the chia seed, according to analysis of the literature reviewed, represented an alternative for the development of farinaceous products with nutritional, organoleptic and technological characteristics superior to the products made based on conventional ingredients in the aforementioned production line.

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Situación Problemática

Las tendencias actuales con respecto a la alimentación indican un marcado interés de los consumidores en ciertos alimentos que, además de aportar nutrientes para el equilibrio metabólico, aporten beneficios adicionales al organismo. Las variaciones en los patrones dietéticos han generado una nueva área de desarrollo dentro de la ciencia alimentaria y ligada estrechamente a la ingeniería y tecnología de alimentos que se conoce como alimentos nutraceuticos o funcionales; esto ha inducido a la búsqueda de materiales que cubran estas expectativas (Sandoval, 2012).

Hoy por hoy, se busca reinsertar en la alimentación habitual, viejos cultivos gracias a las propiedades nutricionales que resultan benéficas al consumo como la alta concentración de proteínas y el contenido de ácidos grasos poliinsaturados de la serie omega-3, compuestos ampliamente estudiados por su comprobado efecto hipolipemiente (Ixtaina, y otros, 2011).

Las dietas occidentales modernas se caracterizan por contener más grasa saturada, más grasas “trans”, más ácidos grasos omega-6 y menos ácidos

grasos omega-3. La domesticación animal trajo consigo un cambio en la composición de los alimentos, especialmente en la relación omega-6: omega-3 (Ayerza & Coates, 2006).

Una alternativa nutricional de los ácidos grasos omega-3, son los suplementos nutricionales, especialmente aquellos elaborados a partir de aceites de origen marino (de pescado, principalmente), sin embargo, estos productos no son universalmente consumidos debido al riesgo de generar trastornos y/o complicaciones, especialmente a nivel gastrointestinal limitando así en forma importante su consumo (Simopoulos, 2000).

Una de las fuentes vegetales con gran potencial nutritivo es la chía; la semilla de dicho vegetal es considerada una importante fuente de diferentes nutrientes como proteína (19-23%), fibra (30-36%), aceite (32-39%) con elevado contenido de ácidos grasos omega-3 y antioxidantes (Sandoval, 2012).

Las evidencias científicas acerca del importante papel de la dieta y/o componentes, especialmente de origen vegetal, en el bienestar y la óptima salud humana, ha favorecido la aparición de los alimentos funcionales que en la actualidad constituyen uno de los principales impulsores del desarrollo de nuevos productos (Jiménez F. , 2013).

1.2 Formulación del Problema

Expuestas las pautas de correlación se formula lo siguiente:

1.2.1 Problema General

¿La evaluación lipídica de la semilla de chía permite el aprovechamiento del ácido graso omega-3?

1.2.2 Problemas Secundarios

1.2.2.1 ¿Es posible la identificación y cuantificación específica del ácido graso omega-3 presente en la fracción grasa de la semilla de chía?

1.2.2.2 ¿Hay relación entre el contenido de ácido graso omega-3 y el origen de la semilla de chía?

1.2.2.3 ¿Existe una semilla de chía con mayor contenido de ácido graso omega-3 cuyo cultivo pueda recomendarse para su aprovechamiento en la industria de productos panificables?

1.3 Justificación de la Investigación

1.3.1 Justificación teórica

La semilla de chía fue uno de los principales alimentos que componía la dieta de las civilizaciones azteca y maya. Hoy por hoy, la chía se considera la mayor fuente vegetal y natural de ácidos grasos omega-3, antioxidantes y fibra dietaria; así, es la mayor fuente del ácido alfa-linolénico compuesto que ha marcado el amplio aprovechamiento de la semilla como fuente de ácido omega-3 (Ayerza & Coates, 2006).

La revolución industrial marcó un cambio significativo en la producción animal, pasando del pastoreo al grano, con la alteración del equilibrio en la relación omega-6 y omega-3 a un incremento de omega-6 y reducción de omega-3 en los alimentos; anteriormente, las dietas contenían una equilibrada cantidad de ácidos grasos omega-6 y omega-3 en una relación de 1-2:1. Actualmente, en el mundo occidental, la dieta es relativamente deficiente en ácidos omega-3 con una relación de ácidos omega-6 y omega-3 de 10-20:1 (Simopoulos, 2011).

Las cualidades nutricionales de la semilla de chía y de los productos derivados están siendo revalorizados dado su elevado contenido de ácidos grasos omega-3, proteínas, antioxidantes y fibra dietaria. La variedad y consumo de aceites vegetales comestibles, de vasta importancia en la alimentación humana, están en función de la disponibilidad de la materia prima en las diferentes regiones. Entre las oleaginosas cuyos aceites son más consumidos figura la palma, la soja, la colza y el girasol. Actualmente, es reconocido el aporte de los lípidos a la salud humana lo cual está determinado de forma básica por la composición de dicha fracción. Así, está demostrado que el perfil de ácidos grasos, especialmente los niveles relativos de ácidos grasos omega-9, omega-6 y omega-3 como la presencia de algunos componentes minoritarios, pueden tener una influencia positiva en el metabolismo del organismo humano (Ixtaina, 2010).

Profundas investigaciones epidemiológicas y controladas, demuestran los efectos benéficos de los ácidos grasos omega-3 sobre las cardiopatías, la difusión a través de documentos y encuentros científicos cuyos resultados han demostrado los citados beneficios, catalogan a la chía como fuente de ácidos grasos omega-3 (Ayerza & Coates, 2006).

En los últimos años, se ha dado la búsqueda y revalorización de materiales provenientes de fuentes naturales que posean constituyentes y/o derivados aplicables al diseño y desarrollo de productos alimentarios, los cuales incidan en la nutrición mediante el aporte simultáneo de efectos benéficos para la salud humana (Ixtaina, 2010).

1.3.2 Justificación práctica

La incipiente producción a nivel industrial de aceites vegetales ricos en omega-3 y presentes en (chía, linaza, sacha inchi y rosa mosqueta) en algunos países latinoamericanos, genera una alternativa novedosa e innovadora para incentivar el consumo de fuentes de ácidos grasos omega-

3, específicamente de su precursor metabólico, el ácido linolénico (ALA) (Morales, y otros, 2012).

La atracción por las cualidades de la chía, no se enfocan únicamente en la utilización de su aceite en la industria farmacéutica con capsulas de aceite de chía o en variados productos de la industria de la cosmetología, sino en el reconocimiento de este vegetal como la más alta fuente natural de ácidos grasos omega-3 (Ayerza & Coates, 2006).

La cantidad de trabajos científicos acerca de las ventajas nutricionales de la chía están creciendo rápidamente alrededor del mundo. La semilla se utiliza como ingrediente para la elaboración de productos de panadería, barras energéticas, suplementos dietéticos y elaboración de dietas para animales, entre otros usos (Ayerza & Coates, 2006).

En los últimos años, una serie de evidencias sugieren que el consumo de ALA en cantidades importantes, permite modificar los niveles tisulares de ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga (AGPICL) omega-3, incluido el ácido docosahexaenoico (DHA), adquiriendo especial interés las diferencias en la conversión de ALA en AGPICL omega-3 dependiendo del tejido donde se metaboliza. Estos antecedentes, sumados a la baja ingesta de ácidos grasos omega-3 (incluyendo ALA, eicosapentaenoico EPA y DHA en occidente), el importante desbalance en la relación omega-6/omega-3 que redundan en alteraciones metabólicas entre las cuales figuran con suma importancia las enfermedades cardiovasculares y, al mismo tiempo, la aparición de aceites vegetales con un significativo contenido de ALA (superior al 50% del total de ácidos grasos), han abierto una interesante y polémica discusión sobre el complejo metabolismo del ALA y su efecto en el organismo (Morales, y otros, 2012).

Dada la importancia del funcionamiento de los metabolitos de los ácidos grasos de la familia omega y su influencia sobre el bienestar físico del organismo humano, se desprende la importancia de desarrollar un proyecto

orientado a reducir el impacto de una nutrición deficiente, caracterizada por el abuso de grasas saturadas y carbohidratos y un déficit de grasas insaturadas, proteínas, vitaminas y minerales.

Los efectos saludables derivados del consumo o la suplementación del ácido graso omega-3 han recibido en las últimas dos décadas mucha atención por parte de la comunidad científica; los resultados de los estudios epidemiológicos y de intervención indican que el consumo de ácidos grasos omega-3 puede afectar favorablemente la salud cardiovascular (Carrero, 2005).

Es por demás pertinente la propuesta de una alternativa, basada en lineamientos teóricos que sustenten y amplíen el conocimiento llevado a la praxis acerca de las bondades brindadas por componentes específicos de alimentos vegetales como el ácido graso omega-3 de la chía, a través del diseño y elaboración de productos alimenticios innovadores.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Evaluar químicamente la fracción lipídica de la semilla de chía para el aprovechamiento del ácido graso omega-3.

1.4.2 Objetivos Específicos

1.4.2.1 Determinar si es posible la identificación y cuantificación específica del ácido graso omega-3 presente en la fracción grasa de la semilla de chía.

1.4.2.2 Determinar si hay relación entre el contenido de ácido graso omega-3 y el origen de la semilla de chía.

1.4.2.3 Determinar si existe una semilla de chía con mayor contenido de ácido graso omega-3 cuyo cultivo pueda recomendarse para su aprovechamiento en la industria de productos panificables.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1 Marco filosófico o epistemológico de la investigación

El inicio de los procesos científicos reposa en las mentes de los grandes pensadores de la historia. Uno de los conceptos primarios, sin el cual no es posible una amplia comprensión de las ciencias, es el paradigma. Thomas Kuhn usa dicho concepto en un profundo análisis acerca de la estructura de las revoluciones científicas (Kuhn, 2010).

Del griego *paradeigma* = ejemplar, un paradigma es un modelo que permite ver una cosa en analogía con otra. Cuando los límites de una analogía son evidentes, se genera entonces una crisis o, como en el caso de las teorías científicas, una “revolución científica” en la que se pasa de la “ciencia normal” por un período “revolucionario” a un nuevo paradigma. Existe una situación “preparadigmática” en la cual no se producen progresos científicos (Kuhn, 2010). Esto deja ver cómo los límites de un modelo, constituyen en muchos casos, la entrada a otros nuevos (Capurro, 2007).

La epistemología, puede conducir al lector a los objetos propios que hacen científico un saber. A partir de la Filosofía, toda ciencia procura abrir el camino a la aprehensión de la realidad, al tratar de descifrar la forma y la

validez de sus productos (del conocimiento), así como sus implicaciones sociales (Vargas, 2006).

Por otro lado, la tecnología, se perfila como un tipo de conocimiento útil, forma de conocimiento que ha sido elevado al nivel de ciencia o al menos a una matriz generadora de saberes, modos de hacer y aún conocimientos que convulsionan la estructura de la ciencia. En este marco, la tecnología es considerada un espacio tanto para el desarrollo heurístico como estocástico en el que la ciencia encuentra un nuevo soporte (Vargas, 2006).

La manera actual de dar curso a los diferentes saberes es la tecnología. La técnica, es sólo un antecedente a ella en la medida que no implica, ni aún supone, los niveles de racionalidad que les son propios a la tecnología, es un modo de hacer las cosas; mientras que la tecnología procura llegar a la esencia de las cosas para transformarlas sustancialmente (Vargas, 2006).

2.1.1 Una mirada a la historia de los saberes filosóficos

Múltiples fueron los campos del conocimiento, en cuanto a saberes filosóficos, en los que incursionara René Descartes "Había estudiado un poco de las partes de la filosofía, la lógica, y de las matemáticas, el análisis de los geómetras y el álgebra, tres artes o ciencias que debían, al parecer, contribuir algo a mi propósito" (Descartes, Discurso del Método, 1980). Una vasta comprensión de los principios que rigen cada rama de la ciencia ubicó al renombrado filósofo en un sitio de decisión. Una de las partes importantes del discurso figura en la conclusión respecto de los muchos saberes "preceptos, hay, sin embargo, mezclados con ellos, tantos otros nocivos o superfluos, que separarlos es casi tan difícil como sacar una Diana o una Minerva de un bloque de mármol sin desbastar" (Descartes, 1993).

De entre muchos preceptos, resaltan dos: "no admitir como verdadera cosa alguna; es decir, evitar cuidadosamente la precipitación y la prevención, y no comprender en mis juicios nada más que lo que se presentase tan clara y

distintamente a mí espíritu" y "dividir cada una de las dificultades, que examinare, en cuantas partes fuere posible y en cuantas requiriese su mejor solución" (Descartes, 1993). El segundo, constituye uno de los preceptos filosóficos en que se fundamenta el presente estudio, donde la consecución de los objetivos específicos (las partes posibles de la dificultad) permiten el logro del objetivo general (la mejor solución).

Escuelas filosóficas influyentes como el racionalismo crítico de Karl Popper (1902-1994), hacen referencia al problema de la separación entre la metodología de las ciencias humanas o del espíritu y la de las ciencias naturales dentro de una fuerte crítica a la hermenéutica (Apel, 1976). Estas últimas, tienen como objeto la explicación causal de los fenómenos naturales que, en primera instancia, hacen un importante aporte para la comprensión científico-filosófica del tema en estudio.

La investigación basada en logros científicos pasados, reconocidos por las comunidades científicas es lo que se conoce como la ciencia normal. Dichos logros son la exposición de la teoría e ilustran con ejemplos las observaciones y experimentaciones (Kuhn, 2010).

Varios son los paradigmas epistemológicos sobresalientes, entre ellos figura el *positivismo* como un intento de codificar y anticipar la experiencia a través del único intento válido del conocimiento, aquel basado en datos observacionales y mediciones de magnitudes y sucesos; así, una de las tesis básicas del citado paradigma lógico es el dogma de la unidad y universalidad del método científico. El *pragmatismo*, paradigma epistemológico nacido con Peirce en el siglo XIX, reemplaza la verdad por el método, lo que garantiza objetividad científica; el citado autor concluye que, algo es real cuando una comunidad de científicos acaba poniéndose de acuerdo en su existencia (Vázquez, Acevedo, Manassero, & Acevedo, 2001).

En virtud de los paradigmas citados previamente, el desarrollo de la presente investigación, basado en la aplicación de metodologías que permiten

identificar compuestos que otorguen ventajas nutritiva y tecnológica por sus ya conocidos beneficios, toma relevancia a partir del componente teórico que no describe la realidad en sí misma, pero sí constituye un instrumento útil que permite relacionar un conjunto de hechos observables con otros (Vázquez, Acevedo, Manassero, & Acevedo, 2001).

2.1.2 Corrientes epistemológicas del siglo XX

En su libro *Tratado de Epistemología* (Vargas, 2006), refiere cinco temas dentro de los cuales figuran dos de importancia filosófica para el presente estudio, a saber: *La tecnología no es una excrecencia de la ciencia y, En la tecnología valen los paradigmas de explicación y de comprensión, dando lugar a una aproximación tanto cuantitativa como cualitativa, desde el punto de vista del método.*

La epistemología *contextualista* viene frecuentemente de la mano con el escepticismo (Popper, 1982). Esta corriente sostiene que "los procesos científicos varían según el contexto y se esfuerza en explicar la ciencia, la tecnología y la investigación en dependencia de factores contextuales tales como las intenciones y presuposiciones del grupo académico dentro del que ellas tienen lugar, los estándares socioculturales locales, las creencias y relaciones interpersonales" (Padrón, 2007).

Respecto de los mecanismos causales, gobernados por una ley causal, pueden estar influenciados por algún matiz estocástico. Ahora, la inclinación natural es considerar a todo proceso como mecanismo causal; en el campo de la química, se toma a las reacciones como un proceso causal de emergencia de un producto a partir de un reactivo, sin embargo, la química cuántica explica que se trata sólo de un efecto agregado; se concluye entonces que, una reacción química es un proceso con una importante fracción aleatoria. No hay método, ni lógica para conjeturar mecanismos. De forma general, las hipótesis emergen en las vías no exploradas del pensamiento (Budge, 1974).

La deducción de las consecuencias observables y su comparación con los resultados de la observación es el proceso común en que se contrastan las teorías científicas, dinámica conocida como el método hipotético-deductivo (Popper, 1957).

Finalmente, es preciso mencionar que Bunge destaca que la teoría no es un enfoque, puesto que este es sólo la manera de ver y manejar las cosas, los problemas o los datos; en todo caso, la relación o incidencia del enfoque en la generación de teorías es que según "la manera de ver los hechos" las teorías emergerán con una naturaleza y estructura particular y en consecuencia desempeñarán una singular función (Bunge, 1999).

Es necesario resaltar que, además de la incidencia de los enfoques epistemológicos en la construcción de las teorías, también participan los elementos contextuales o temporales y otros aspectos que son válidos de forma atemporal y que desde una postura particular, permiten hacer generalizaciones, estableciendo leyes o modelos (Jeffry, 1992).

La primera fase del método expuesto previamente, "enriquece la teoría dada con un modelo más o menos idealizado del objeto de estudio" (Bunge, 2006). Dicho modelo obedece a varios supuestos que no figuran en la teoría general, pero son compatibles con la misma. Así, el estudio basado en la identificación de compuestos de una semilla para lograr el aprovechamiento de sus bondades, se fundamenta en supuestos relacionados con características favorecedoras para la salud humana que varios estudios confieren a la semilla chía.

En una segunda fase, "se relaciona algunos de los conceptos que aparecen en el modelo con los indicadores observables pertinentes de los elementos inobservables a los que la teoría se refiere" (Bunge, 2006). En este punto del estudio, intervienen indicadores como la presencia y concentración de ácidos grasos, principalmente de la serie omega-3 en la evaluación de la fracción

lipídica de la semilla en estudio, elementos estudiados en relación a los hallazgos teóricos hasta hoy encontrados.

Finalmente, el tercero y último paso "es establecer y leer la observación pertinente y el instrumento de medición" (Bunge, 2006). Fundamentando el presente estudio en el citado hecho, todo experimento en laboratorio implica el uso de equipos de medición; estos instrumentos traducen hechos inobservables, materializando de esta manera, las hipótesis inobservables del estudio.

Ahora bien, las teorías cumplen también con la función de descubrir o explicar un fenómeno, un referente metodológico u observacional; así, el componente teórico es el cimiento para el potencial explicativo de una investigación. A pesar de ello, los argumentos teóricos van más allá de la sola selección de teorías preexistentes, sino que constituye además, un problema a resolver en cuanto a la elección de unas y no de otras, y cómo estas teorías se corresponden con la formulación del problema, con los objetivos de la investigación y principalmente, con el enfoque epistemológico de la investigación (Leal & Rincón, 2015).

2.1.3 Consecuencias prácticas de los paradigmas epistemológicos

Con frecuencia se sostiene que las discusiones filosóficas tienen poca o ninguna consecuencia en la práctica. Si bien las teorías filosóficas no aspiran a resolver de inmediato problemas prácticos y tampoco problemas científicos, ambos reposan *nolens volens* sobre una pre-comprensión de sus objetos (Capurro, 2007).

De forma concluyente, y en términos muy generales, debiera considerarse una orientación de la epistemología como base fundamental para las investigaciones que se realizan en la práctica y para la gestión de la misma (Padrón, 2007). Por tanto, el dualismo existente entre teoría y praxis es producto de un argumento implícito que le impide ver su misma falla. Esta es

una de las grandes lecciones de la discusión epistemológica del siglo XX (Capurro, 2007).

2.2 Antecedentes de la Investigación

2.2.1 La chía como fuente de omega-3

La chía (*Salvia hispanica* L.) planta anual de verano perteneciente a la familia de las Lamiaceas (Figura 1), es una especie que se origina en las áreas montañosas que se extienden desde el oeste central de México hasta el norte de Guatemala (Fernandez, y otros, 2006).



Figura 1. Planta de chía. Fuente. (Di Sapiro, Bueno, Busilacchi, & Severin, 2008).

La chía es considerada una buena fuente de compuestos nutricionales como proteínas, antioxidantes, ácidos grasos esenciales y fibra (Di Sapiro, Bueno, Busilacchi, & Severin, 2008).

La evidencia científica apoya fuertemente a la chía (Figura 2) como la fuente más eficiente para enriquecer alimentos con ácidos grasos omega-3. Al agregar en forma directa, semilla o harina al producto final o incluyéndose en dietas animales, no se han reportado ninguno de los problemas que tienen otras fuentes de omega-3 (Tabla 1), como la linaza o los productos marinos que mostraron sabor a pescado, pérdida de peso en los animales, problemas digestivos, diarrea, alergias, entre otras alteraciones indeseables (Tosco, 2004).



Figura 2. Semilla de chía. Fuente. (Di Sapia, Bueno, Busilacchi, & Severin, 2008).

Tabla 1. Ácidos grasos omega-3 de varias fuentes alimentarias.

Nombre común	Nombre sistemático	Abreviatura	Fórmula	Fuente alimentaria
Alfa-linolénico	Octadecatrienoico (ALA)	18:3 (n-3)	C ₁₈ H ₃₀ O ₂	Anguila europea, macarela, quínoa, chía, soya, lino
Timnodónico	Eicosapentaenoico (EPA)	20:5 (n-3)	C ₂₀ H ₃₀ O ₂	Sardina, anchoveta
Cervónico	Docosahexaenoico (DHA)	22:6 (n-3)	C ₂₂ H ₃₂ O ₂	Abadejo, hígado de bacalao, cacahuete

Fuente. Adaptado de (Dupont), (Deutch, Bonefeld, & Hansen), y (Etherton, y otros, 2000).

En 1995, los proyectos financiados por Australian National Health and Medical Reserch Council, mostraron que un mayor contenido de ALA (Figura 3) en la dieta, aumentaba el contenido de EPA (Figura 4) en los tejidos

humanos, en una forma predecible. Se determinó una relación lineal entre la incorporación de ALA de origen vegetal y la concentración de EPA en plasma y en los folículos celulares. Por otro lado, una investigación publicada en 1997 por la Sociedad Americana para la Nutrición Clínica, comparó los efectos de suministrar ALA de origen vegetal, con los ácidos grasos DHA (Figura 5) y EPA de origen marino en cuanto a factores hemostáticos en seres humanos y no pudo demostrar que eran estadísticamente diferentes (Tosco, 2004).

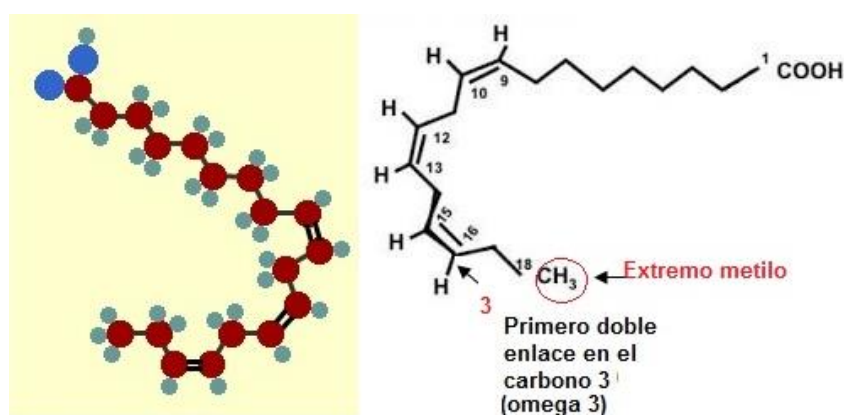


Figura 3. Estructura del ácido linolénico, ALA. Fuente. (Araneda, 2016).

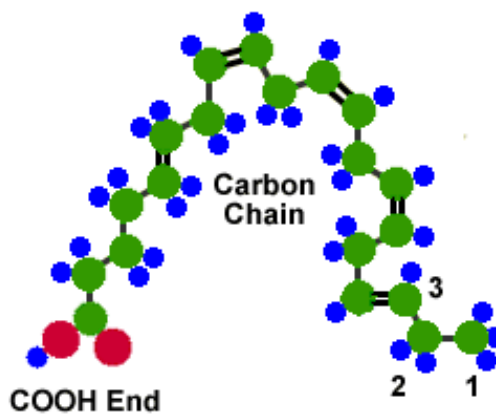


Figura 4. Estructura del ácido eicosapentaenoico, EPA. Fuente. (Scientia, 2011).

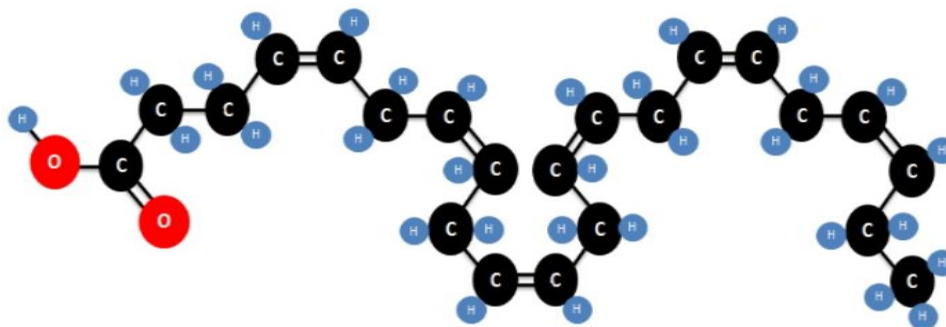


Figura 5. Estructura del ácido docosahexaenoico, DHA. Fuente. (Valenzuela R. , 2015).

Una revisión experimental reciente comparó a la chía con otras fuentes de ácido graso omega-3 (Ayerza & Coates, 2002). En ella se demostró la ventaja de la chía (Tabla 2) sobre las dietas que incluyen aceite de pescado y linaza para la producción de huevos omega-3. Además, un trabajo de investigación que compara los efectos de la linaza y la chía como fuentes de omega-3, informa sobre los efectos negativos que tiene la linaza en la producción de huevos cuando es agregada a las dietas, enriquecidas con chía, de gallinas ponedoras (Ayerza & Coates, 2002).

Tabla 2. Contenido de ácido graso ALA en fuentes vegetales (g/100g).

Fuente vegetal	Ácido alfa-linolénico
Lino	22.8
Quínoa	8.3
Nuez de nogal	6.8
Chía	3.9
Soya cruda	3.2
Avena germinada	1.4
Trigo germinado	0.7
Maíz germinado	0.3

Fuente. Adaptado de (Almazan & Odeyeye, 1998) y (Etherton, y otros, 2000).

Considerando el contenido de ácido graso alfa-linazalénico ALA de la linaza y la chía y la incorporación de ácido omega-3 en los huevos, la chía prueba que tiene una mayor eficiencia (230%) que la linaza (Tosco, 2004).

Sólo en 1963 Hansen y colaboradores demostraron, por primera vez en humanos, la incapacidad de sintetizar estos ácidos grasos indicando, además, la necesidad de ingerir una cierta cantidad de ellos al día, otorgándoles el carácter de ácidos grasos esenciales.

Con la llegada de la revolución industrial, hubo un marcado cambio en la proporción omega-6/omega-3 en la dieta; el consumo de omega-6 se incrementó a expensas de los omega-3. Este cambio fue un reflejo del advenimiento de la industria de aceites vegetales, así como de un incremento en el uso de granos cerealeros para el ganado doméstico, aunado todo esto a un menor consumo de pescado (Simopoulos, 2000).

Durante los años 70's Bang y Dyerberg (Nelson, 2000) observaron en los esquimales de Groenlandia el consumo de una dieta bastante elevada en grasa proveniente de varias especies marinas; sin embargo, la incidencia de enfermedades relacionadas con el corazón y cáncer, equivalentes al consumo elevado de grasas, era muy baja. El tipo de grasa consumida por la citada población poseía grandes cantidades del ácido EPA y de DHA (ambos de la familia omega-3). Poblaciones con un alto consumo de pescado, como los esquimales, japoneses, coreanos, taiwaneses, entre otros, no sólo presentaban una tasa muy baja de infartos al miocardio sino también de otras afecciones como la hipertensión, artritis reumatoide, violencia y depresión, entre otras. Asimismo, a partir de los años 80's se reconoció la importancia de los ácidos graso omega-3 en la función visual y cerebral de los niños y adultos (Simopoulos, 2000).

Inicialmente, se creyó que una solución parcial a los problemas descritos, se encontraría en la acuicultura, sin embargo, la acuicultura a través de los métodos de alimentación empleados, puede por sí misma dañar

significativamente los ecosistemas con pérdidas de reservas de peces. Además, el valor nutricional de los pescados producidos depende del alimento y los niveles de ácidos grasos omega-3 (Tabla 3) pueden ser extremadamente bajos (Hunter & Roberts, 2000).

Tabla 3. Contenido de omega-3 en diferentes especies de peces (g/100g)

Especie de pez	ALA	EPA	DHA
Atún albacora	0.2	0.3	1.0
Anchoas	-	0.5	0.9
Bagre café	0.1	0.2	0.2
Macarela	0.3	0.9	1.0
Esturión	0.1	0.2	0.1
Bacalao	Tr	0.1	0.1
Lenguado	Tr	0.1	0.1

Tr = trazas (menos de 0.05 g por 100 g de alimento)

Fuente. Adaptado de (Escott-Stump & Maham, 2001) y (Nettleton, 1991).

Durante varios años, el pescado, tanto como la chía, han sido alimentos utilizados en la dieta del hombre. Los productos del mar como el pescado, han formado parte de la alimentación de poblaciones ubicadas en zonas costeras de todo el mundo; aunque esta realidad, ha sufrido un considerable decremento en los últimos años (Chipello, 1998), estos alimentos marinos aún forman parte esencial de la dieta de poblaciones de varias regiones del mundo. A pesar de ello, la aplicación de los aceites es muy limitada (Becker & Kyle, 1998).

A partir de estas observaciones, se han realizado numerosas investigaciones clínicas y epidemiológicas que han evidenciado la esencialidad en el ser humano de los ácidos grasos omega-3, y particularmente la importancia del EPA y DHA en la prevención y manejo de diversas afecciones (Castro, 2002).

Por otro lado, muchas poblaciones se ven restringidas en el uso del citado alimento por las alteraciones alérgicas tanto en el ámbito alimentario como

ocupacional que el pescado genera, alteraciones reconocidas entre las alergias alimentarias más comunes, en grupos humanos de variada edad (Madsen, 1997).

En varios países se ha registrado un incremento en la presencia de desórdenes relacionados con alergias, estas son hoy en día, una de las causas de enfermedades y muerte especialmente en la población infantil (Chandra, 2007).

En lo que refiere al consumo de pescado, las alergias varían en función de la geografía y la exposición al producto. En Suecia, por ejemplo, casi un 39% de la población pediátrica presenta reacciones alérgicas al pescado y en España, la citada población susceptible figura entre el 18 y 30%. En el continente europeo, el 22% de las reacciones alérgicas tienen como factor causal al pescado (Pascual, Esteban, & Crespo, 1992).

Los cambios en la dieta del hombre, presentados de forma paulatina, especialmente por el incremento en el consumo de grasas de origen vegetal y disminución en la ingesta de productos provenientes de pescados indujo la alteración de la relación de ácidos grasos omega-6/omega-3 que se encuentra actualmente en 20-30:1. Durante el establecimiento del código genético y en respuesta a la dieta del hombre, se estableció la relación en el orden de 2-4:1 (Golberg, 2012).

Finalmente, una importante consideración radica en la presencia de colesterol, lípido característico de los organismos de origen animal que puede variar entre 25.2 y 64.8 g/kg de lípidos totales en pescados comerciales en función de la especie (Scolari, y otros, 2000). Estos datos toman vasta relevancia dado que la fracción lipídica de los vegetales como la chía, carecen del citado componente esteroideo.

A la par de esta realidad, las reservas de peces están disminuyendo alrededor del mundo dada la vasta explotación y la desmedida

contaminación acuática registrada en las últimas décadas. Un estudio relacionado con la residualidad de componentes potencialmente nocivos para el organismo humano, monitoreó la presencia de contaminantes orgánicos como 3 14 PCB, DDT, oxychlordane y otros en sangre de madres de países nórdicos como Groenlandia donde se encontraron valores que sobrepasaron el nivel de alerta, de acuerdo a la guía canadiense de PCB's en sangre para mujeres en edad reproductiva, además Canadá, Islandia, Noruega, Suecia y Rusia (Hansen, 2000), (Helm, Bidleman, Stern, & Kokzanski, 2002).

Lo citado anteriormente, se corrobora con un estudio realizado en Suecia, donde las poblaciones con una dieta basada en grandes cantidades de pescado de variados tipos (incluyendo salmón y arenque) acumularon niveles de dioxina superiores al encontrado en un grupo de personas que no incluyen en la dieta, dicho producto del mar (Svensson, y otros, 1991).

A través de una encuesta aplicada por la Autoridad de Alimentos Seguros de Irlanda (IFSA), se evaluó la contaminación de dioxina y PCB en aceite de pescado para el consumo humano. El organismo oficial determinó que los complementos nutricionales elaborados a base de aceite de pescado, presentaron rangos de contaminantes sobre los fijados por la Unión Europea (Tlustors, y otros, 2004).

La fracción lipídica de las fuentes vegetales de omega-3 muestran una ventaja muy importante sobre aquellas de origen animal (Tabla 4) desde el campo de las alteraciones cardiovasculares, esto se debe al contenido de ácidos grasos saturados (esteárico, mirístico y palmítico), significativamente inferior en el caso de la chía, cuya semilla posee alrededor de 4 veces menos que los aceites de pescados (Groundy, 1997) o mucho menos hipercolesterolémico que el palmítico y mirístico (Katan, Zock, & Mensink, 1995).

Tabla 4. Contenido de omega-3 de fuentes vegetales y animales (g/100g)

Fuentes vegetales		Fuentes animales	
Lino	22.8	Atún albacora	0.2
Quínoa	8.3	Anchoas	-
Nuez de nogal	6.8	Bagre café	0.1
Chía	3.9	Macarela	0.3
Soya cruda	3.2	Esturión	0.1

Fuente. Adaptado de (Almazan & Odeyeye, 1998) y (Escott-Stump & Maham, 2001).

De la misma manera, un ensayo compara a un conjunto de personas a quienes se suministró ácido graso alfa-linazalénico con la ingestión de semillas de chía y un grupo placebo. Se encontró que los niveles de HDL y triglicéridos eran diferentes entre los grupos de estudio, favoreciendo al grupo que consumió las semillas de chía (Ayerza & Coates, 2002).

En un estudio llevado a cabo en semillas blancas de chía y semillas negras-manchadas (Figura 6) cultivadas comercialmente en un ecosistema de bosque tropical ubicado en Ecuador, se concluyó que las semillas blancas y las negras manchadas pertenecen a los genotipos Tzotzol e Iztac, respectivamente (Ayerza & Coates, 2009).



Figura 6. Semillas de chía negra y blanca. *Fuente.* Adaptado de (Sitemap, 2017).

Recientemente, se informó que no hubo diferencias significativas en el contenido de aceite y perfil de ácidos grasos entre las semillas blancas y las semillas negras manchadas de chíá que crecen en 5 diferentes ecosistemas. El objetivo del citado estudio fue determinar si se producen diferencias en las concentraciones de proteínas, aceite, fibra, aminoácidos y antioxidantes en los dos genotipos de chíá que se diferencian por el color del pericarpio (Ayerza R. , 2011).

Los valores de los parámetros medidos en el mencionado estudio difieren muy poco entre los dos genotipos. Las diferencias en los valores analíticos no fueron estadísticamente significativas. Estos parámetros tuvieron resultados dentro de los límites reportados por (Ayerza R. , 2013) para los mismos genotipos cultivados en diferentes lugares de Argentina, Colombia, Bolivia, Ecuador y Perú. El análisis de varianza mostró que las diferencias en el contenido de ácidos grasos no fueron estadísticamente diferentes entre genotipos.

Hoy en día, la recomendación respecto de la ingesta de grasa varía entre 30-35% del valor energético aportado en la dieta de un día, de esta fracción porcentual, un 15-20% debe corresponder a la ingesta de ácidos grasos monoinsaturados (AGM), un 7-8% a los saturados (AGS), y un 5% a los ácidos grasos poliinsaturados (AGP) (García A. , 2006).

Al respecto, cabe mencionar que la semilla de chíá presenta una concentración de grasa y proteína superior a la encontrada en otros pseudocereales como la quínoa y el amaranto (Ruales & Nair, 1992); (Loubes, Calcetta, Tolaba, & Suarez, 2012).

2.2.2 Caracterización de ácidos grasos omega-3

La cromatografía se define como un método físico de separación en el cual los componentes a ser separados son distribuidos entre dos fases (Figura 7), una de ellas constituye la fase estacionaria (columna) y la otra es la fase

móvil (fluido) que pasa a través o a lo largo de la fase estacionaria en una dirección definida. Esta técnica analítica se basa en la diferencia de velocidades de migración de los componentes permitiendo así la separación de los componentes de una mezcla para su identificación y cuantificación en un equipo denominado cromatógrafo de gases (Stambuk, 1970).

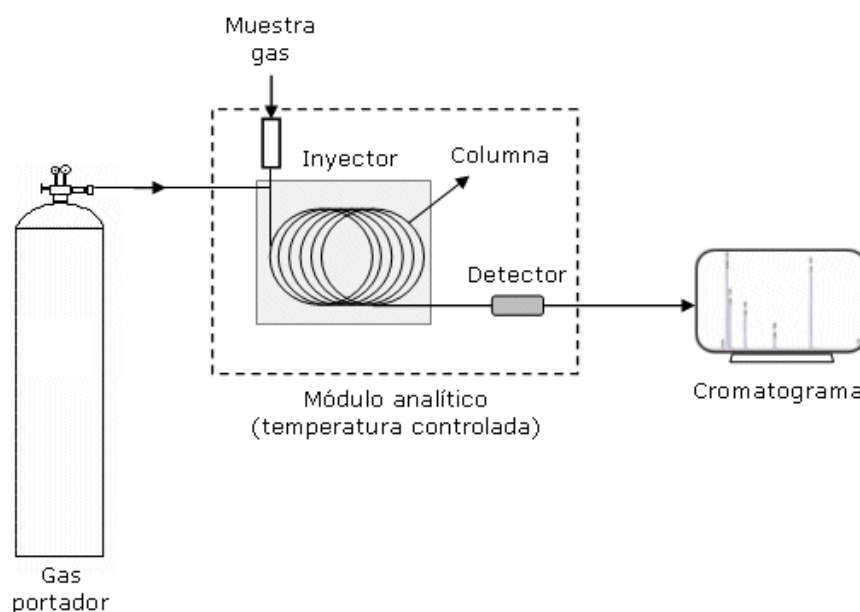


Figura 7. Esquema del principio de la cromatografía de gases. Fuente. (Ávila, 2017).

El primer trabajo en el que se hace pasar una fase móvil gaseosa a través de una columna data de 1951, dando lugar a la técnica conocida como cromatografía de gases. Esta técnica, descrita por (James & Martin, 1952), es en la actualidad el método usado ampliamente para la separación de los componentes volátiles y semivolátiles de una muestra. La combinación de altas resoluciones, sensibilidad y tiempos de análisis cortos la ha convertido en una técnica de rutina usada en la mayoría de los laboratorios químicos.

La cromatografía de gases y su acoplamiento con la espectrometría de masas, son técnicas que constituyen una herramienta potente para separar, identificar y cuantificar los componentes volátiles y semivolátiles de mezclas complejas (Gutierrez & Droquet, 2002).

2.3 Bases Teóricas

2.3.1 La chía como fuente de omega-3

La chía es una excelente fuente de proteínas que proporciona todos los aminoácidos esenciales. Comparada con otras semillas y granos, la chía provee la más alta fuente de proteínas, entre el 19 y 23% de su peso es proteína. Contiene además fécula, mucílago y aceite, éste último en una proporción que varía entre el 30 y 35% (Tosco, 2004). Una de las propiedades sobresalientes, única en la chía, es la habilidad de absorber agua en más de 12 veces su peso (Tabla 5). Esta habilidad de sostener agua, puede prolongar hidratación y retención de electrolitos en fluidos del cuerpo, especialmente durante grandes esfuerzos físicos. Una normal retención de fluidos asegura una adecuada dispersión de electrolitos para cruzar la membrana celular y mantiene un buen balance de fluidos para ayudar a las funciones celulares (Tosco, 2004).

Tabla 5. Composición nutricional de la semilla de chía (g/100g)

Componente	Contenido
Humedad	6.2
Materia grasa	28
Proteína	20
Hidratos de carbono	8.6
Fibra dietaria	33
Cenizas	4.5

Fuente. Adaptado de (Jiménez, Masson, & Quitral, 2013).

El citado pseudocereal es la fuente más rica de ácidos grasos y antioxidantes naturales disponible como materia prima para su uso en alimentos funcionales, nutracéuticos y suplementos dietéticos. La inigualable estabilidad de los ácidos grasos presentes en la chía (Tabla 6) es el resultado de los antioxidantes naturales que contiene. La oxidación de los lípidos alimenticios es la mayor preocupación tanto de los consumidores, como de

los fabricantes; si no se controla la oxidación, puede producir sabores extraños (el típico sabor a pescado) y también favorece el envejecimiento y las enfermedades degenerativas como el cáncer, enfermedades cardiovasculares, cataratas, declinación del sistema inmunológico y disfunción cerebral. Los antioxidantes de la chía tienen una enorme ventaja sobre las demás fuentes de ácidos grasos omega-3 (Tosco, 2004).

Tabla 6. Contenido de ácidos grasos abundantes en la semilla de chía

Ácido graso	Contenido (%)
Oleico	7.80
Linoleico	22.00
Linolénico (omega-3)	56.60
Esteárico	3.40
Palmítico	8.50

Fuente. Adaptado de (Bueno, y otros, 2010).

Dentro del mencionado grupo de ácidos grasos se encuentran los denominados "ácidos grasos omega" y los "ácidos grasos funcionales" (Tabla 7); a estos últimos, dentro del ámbito científico, se les confiere beneficios sobre el metabolismo de algunas funciones del organismo humano. Entre las bondades que se han visto reflejadas figuran las propiedades antitumorales (Reisser, Gauthier, Pance, & Jeannin, 2003), antirritmogénicas (Harris, Poston, & Haddock, 2007), y antiinflamatorias (Maroon & Bost, 2006).

Tabla 7. Ácidos grasos omega y su contenido en la chía

Ácido graso	Nombre abreviado	Contenido (%)
Oleico	18:1 (ω -9)	6.5
Linoleico	18:2 (ω -6)	19
Linolénico	18:3 (ω -3)	63.8

Fuente. Adaptado de: (Di Sapio, Bueno, Busilacchi, & Severin, 2008).

El ácido linolénico (ALA), uno de los más abundante en la semilla de chía se metaboliza en el organismo humano para la síntesis de DHA y EPA, gracias a procesos de saturación y elongación de enzimas especializadas. Aunque la conversión de ALA en DHA y EPA se ha determinado hace ya mucho tiempo, la relación de ácidos grasos de carbono-18, omega-6 y omega-3, en la conversión de sus respectivos metabolitos de carbono-20 en los tejidos, se ha reportado sólo recientemente (Tosco, 2004).

Resultados de estudios científicos muestran que tanto EPA, como DHA pueden ejercer efectos benéficos para reducir el riesgo de enfermedades cardiocoronarias, sólo si la protección de los antioxidantes contra el estrés oxidativo es suficiente para minimizar el daño peroxidativo de los tejidos lipídicos (Valenzuela, Tapia, Gonzalez, & Valenzuela, 2011).

Dado que la oxidación en la chía es mínima a nula, mantiene un gran potencial dentro de la industria alimentaria, comparada con otras fuentes de ácido graso ALA como la linaza que muestra una descomposición rápida debido a la ausencia de antioxidantes. La linaza también contiene cianoglicosidos y compuestos antagónicos a la vitamina "B6". Descubrimientos científicos recientes, muestran que los niveles bajos de vitamina "B" en la sangre están asociados con un riesgo creciente de enfermedades coronarias fatales y embolia (Tosco, 2004).

La semilla de chía, agregada a las dietas animales provoca una dramática reducción en el contenido de ácidos grasos saturados de los productos obtenidos (hasta 30.6% en los huevos). La disminución es significativamente mayor que la que se encuentra cuando se suministran dietas que contienen productos marinos (pescado y algas) y semilla de linaza. Los ácidos grasos saturados de las dietas se asocian con las enfermedades cardiovasculares y su efecto sobre el colesterol de baja densidad en la sangre (LDL) es más fuerte que el del colesterol dietético. Esta diferencia significativa entre la chía y las otras fuentes de omega-3 tiene implicaciones de gran importancia en la comercialización de la semilla (Tosco, 2004).

El pseudocereal en estudio tiene gran potencial en un futuro cercano, de ser utilizado en la industria alimentaria. Debe enfatizarse que el ácido graso ALA es un ácido graso omega-3 insaturado, los ácidos grasos poli-insaturados como el ALA son muy importantes para la nutrición humana. Se ha demostrado que el aceite que contiene altos porcentajes de ácidos grasos omega-3, suministrado a la dieta, reduce el riesgo de sufrir enfermedades cardiovasculares (Tosco, 2004).

La ciencia moderna ha determinado que las semillas de chía contienen cantidades de aceite que varían entre un 32 a un 39% y dicho aceite ofrece el porcentaje natural conocido más elevado de ácido omega-3 (60-63%). Este ácido graso esencial, también ha demostrado poseer una importancia significativa en gran cantidad de compuestos industriales, tales como barnices, pinturas, cosméticos, entre otros (Tosco, 2004).

La chía es una buena fuente de fibra dietética y puede ser favorecida en comparación con las fuentes tradicionales de fibra como la cebada (17,3%), maíz (13,4%), trigo (12,6%), soja (15%), semillas de lino (22,33 %) y las semillas de sésamo (7,79%) (Dhingra, Michael, Rajput, & Patil, 2012). La importancia de las fibras de los alimentos ha llevado al desarrollo de un mercado grande y potencial para los productos e ingredientes ricos en fibra y en los últimos años, hay una tendencia a encontrar nuevas fuentes de fibra dietética que puede ser utilizada en la industria alimentaria (Vasquez, Rosado, Chel, & Betancur, 2009).

En el estudio detallado a continuación, se analizó cómo nuevas fuentes de aceites con un alto contenido de ALA, que muestran una adecuada conversión en EPA y DHA, pueden constituir una alternativa para aportar ácidos grasos esenciales, especialmente ALA y como potenciales sustitutos de omega-3 de origen marino. El ácido alfa-linolénico (C18:3 omega-3, ALA) es un ácido graso esencial que puede ser elongado y desaturado hasta transformarse en ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga con

importantes funciones en el organismo, específicamente los ácidos grasos (C20:5 omega-3, EPA) y (C22:6 omega-3, DHA) (Morales, y otros, 2012).

El ácido graso ALA no puede resintetizarse en el organismo y es por esta razón que se ha denominado ácido graso esencial, a diferencia de EPA y DHA que pueden formarse a partir de ALA. Los seres humanos de cualquier edad, incluso desde antes de nacer, convierten el ALA en DHA (Brenna, 2002).

Aun cuando la conversión de ALA en EPA y DHA se ha determinado con anterioridad, solo recientemente se informó sobre la relación matemática entre los ácidos grasos de 18-carbonos omega-3 y omega-6 en la concentración de los tejidos de sus respectivos metabolitos de 20-carbonos (Muggli & Clough, 1994).

Un estudio piloto realizado en el Centro de Investigación y Nutrición Humana de Betsville, Maryland, EE.UU., demostró que el ácido ALA dietario es un modulador efectivo de la biosíntesis de tromboxanos y prostaciclina; por lo tanto, se deberá esperar que los efectos de ALA sean similares a aquellos producidos por los lípidos marinos (Ferreti & Flanagan, 1996).

Múltiples son las evidencias encontradas en torno a las ventajas nutricionales de la semilla de chía en comparación con otras fuentes de ácido omega-3 y una gran gama de productos derivados de este pseudocereal son elaborados y comercializados hoy en día. Es así que la ciencia moderna da a conocer a la chía como el componente básico de la dieta de las civilizaciones mesoamericanas antiguas. Después de varios siglos oculta, la chía, el cultivo de los aztecas, brinda al mundo la oportunidad de mejorar la nutrición humana regresando a los orígenes y, suministrando una fuente natural de ácidos grasos omega-3 y antioxidantes (Tosco, 2004).

2.3.2 Extracción de la fracción grasa de la semilla

Los lípidos constituyen la principal fuente de energía en comparación con los otros nutrientes energéticos como las proteínas y los hidratos de carbono, estos aportan 4 kilocalorías por gramo mientras que aquellos lo hacen en más del doble, 9 kilocalorías por gramo consumido. La recomendación general para el organismo humano en cuanto a la ingesta calórica obedece al consumo de grasas en un rango que oscila entre el 20% y 30% del total de las calorías consumidas en un día; de este porcentaje, se conoce además que la tercera parte, aproximadamente, debe corresponder a grasas saturadas, otra parte igual a grasas conformadas por ácidos grasos poliinsaturados y una más, equivalente a las dos primeras, a ácidos grasos monoinsaturados. Estos parámetros están recomendados para una posible prevención de alteraciones patológicas relacionadas con la salud cardiovascular (De Luna, 2007).

Los ácidos grasos son las moléculas que constituyen las estructuras básicas de las grasas, son elementos biológicos que no se solubilizan en solventes polares como el agua, pero son solubles en solventes no polares como hexano, éter, cloroformo, benceno y otros afines (De Luna, 2007).

La extracción de grasa se realiza con el fin de obtener dos fases, una líquida y otra sólida, la fase líquida se denomina aceite, mientras que la fase sólida se denomina torta o harina desengrasada. Esta operación se realiza en la mayoría de casos mediante el uso de metodología mecánica, el prensado; posteriormente, se introdujo la metodología química, la extracción a través del uso de solventes orgánicos lo que mejoraría el rendimiento final de la materia grasa. Sin embargo, en cuanto a la alteración de las características moleculares de los ácidos grasos, se ha registrado que la aplicación de métodos químicos genera ácidos grasos "trans", al extraer la fracción grasa con hexano a temperaturas de 70 °C se generan 0.3 g/100 g de ácidos grasos "trans" y con acetona a 55 °C se forman 0,45 g/100 g de estos compuestos moleculares (Ortiz, Dorantes, Galindez, & Guzmán, 2003).

Uno de los métodos más utilizados a nivel de laboratorio es la obtención de grasa por medio de solventes orgánicos en el extractor Soxhlet (Figura 8). El mecanismo básico que rige el proceso es la separación de las moléculas lipídicas del resto de compuestos que conforman una muestra. Esta es tratada de forma previa, generalmente aplicando metodologías de reducción de tamaño para incrementar la superficie de exposición al solvente. La muestra acondicionada se coloca en capuchones de celulosa, este conjunto será colocado en el interior del tubo Soxhlet, este se conecta a un balón en la parte inferior y a un enfriador en la parte superior con el fin de condensar el solvente para provocar el reciclo mientras la fracción grasa se solubiliza en el solvente. Este reciclo se repite hasta que se haya obtenido la totalidad de la fracción etérea. Finalmente, el aceite se concentra en el fondo del balón, luego de la recuperación del solvente (Nuñez, 2008).

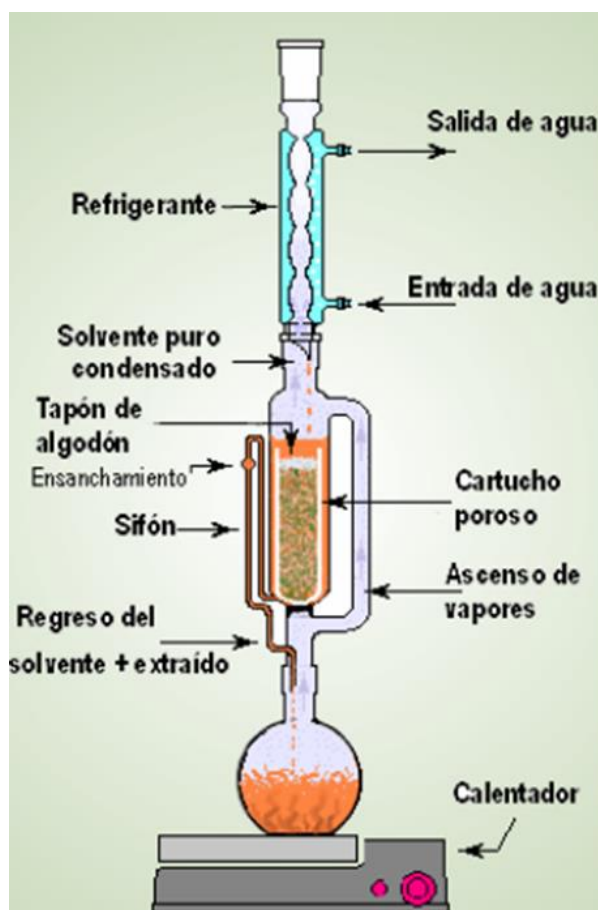


Figura 8. Sistema de extracción Soxhlet. Fuente. (Nuñez, 2008).

Importantes consideraciones para lograr que el procedimiento de extracción sea eficaz son:

Volumen del solvente: para el análisis del volumen del solvente, este debe ser utilizado en la cantidad requerida en función de la capacidad del extractor Soxhlet, sin embargo, el factor definitorio en este particular, constituye el tamaño (la longitud) del capuchón de celulosa cuyo interior contendrá la muestra ya que, en función de este, se preparará la muestra a ser analizada. Por tanto, el volumen del solvente debe ser el necesario para cubrir el capuchón una vez que, condensados los vapores del mismo, es dispensado sobre el capuchón presente en el interior del extractor, esto permitirá que se lleven a cabo las sifonadas sin dejar el balón seco mientras la grasa es solubilizada y mezclada con el solvente en el balón. Estas condiciones permiten la obtención del 100% del contenido lipídico de la muestra. La pérdida del solvente durante el proceso, por evaporación, hace que se considere un volumen adicional para evitar faltantes en el proceso (Nuñez, 2008).

Tipo de solvente: la selección del solvente obedece a las propiedades del proceso a aplicarse. La temperatura de ebullición del solvente, constituye el factor de mayor atención al momento de evaluar el tipo de solvente a utilizarse, ya que se ha comprobado que el equipo funciona dentro de un rango mínimo y máximo de temperatura; una relación que deja claro lo citado previamente, entre los factores temperatura de ebullición, solvente evaporado y velocidad de extracción es la siguiente: a mayor punto de ebullición menor es el caudal del solvente evaporado y menor es la velocidad de salida de la fracción grasa. Estas particularidades son necesarias de considerar al momento de definir el solvente a utilizar, especialmente en extracciones no normalizadas. Otro factor importante, en este punto, es la polaridad del solvente ya que, los solventes no polares tienden a presentar dificultades al momento de realizar las sifonadas por no humedecer el material de vidrio (Nuñez, 2008).

Extracción: una vez alcanzada la temperatura de ebullición en el sistema, el vapor del solvente inicia el proceso de condensación en el enfriador y cae en forma de gotas continuas sobre la muestra en el interior del capuchón. Al momento en que el solvente es condensado y alcanza la máxima altura en la curva del sifón menor, comienza el ciclo provocándose la primera sifonada, a partir de ese momento, se requiere entre 5 y 20 minutos para que el solvente vuelva a comenzar el ciclo en función del tipo de solvente y de la temperatura utilizada en el proceso; el número de sifonadas obedece también a factores como el tipo de solvente y el tipo de muestra analizada (Nuñez, 2008).

2.3.3 Caracterización de ácidos grasos omega-3

La búsqueda de métodos de análisis más exactos y precisos en la determinación de la concentración de ácidos grasos, en especial de los de la familia omega, por sus múltiples y comprobados beneficios sobre varias funciones del metabolismo humano como el ácido graso linolénico (ALA), el ácido eicosapentaenoico (EPA) y el ácido docosahexaenoico (DHA) y varios más como los isómeros del ácido linoleico conjugado (CLA), se ha generado por la tendencia al cambio en la composición de los ácidos grasos en el organismo a través de la modificación de la dieta. La identificación y separación de los isómeros del CLA, por ejemplo, corresponde a un análisis bastante complejo en el cálculo de las concentraciones de isómeros de mayor actividad (Winkler & Steinhard, 2001), esta complejidad puede extenderse a los isómeros “trans” de los ácidos de la familia omega como los ácidos grasos oleico, linoleico y linolénico.

Los porcentajes relativos de los diferentes ácidos grasos en la dieta humana han sufrido alteraciones profundas a consecuencia del procesamiento industrial de los alimentos (Golberg, 2012).

Para el cumplimiento del objetivo relacionado con la ampliación de la gama de productos de diferentes tipos como lácteos, productos de panadería,

suplementos nutricionales, entre otros, la industria alimentaria incorpora ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) en la elaboración de los mencionados productos (Kolanowski & Berger, 2009) en los que se sustituyen ácidos grasos saturados por ácidos poliinsaturados y funcionales (Erasto, Grierson, & Afolayan, 2007).

La evaluación de los aceites de semillas realizada a partir de la obtención y posterior caracterización de ácidos grasos estructurados por transesterificación química de ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga (omega-3), se muestran en diversas investigaciones actuales (Jennings & Akoh, 2001).

Frente al hecho de que los triglicéridos de cadena media (TGCM) no constituyen en sí mismos un destacado aporte energético que redunde en el equilibrio metabólico de los lípidos, ya que estos son carentes de los ácidos grasos denominados esenciales (AGE), la aplicación de la metodología basada en el procedimiento de transesterificación de los triglicéridos de cadena media (TGCM) en triglicéridos de cadenas largas (TGCL) utilizando especialmente aceites de pescado, rico en ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) omega-3, recobra una importancia suprema cuando el objetivo tecnológico es buscar la obtención de macromoléculas de alto valor biológico (Gamboa & Gioielli, 2003).

La degradación de los lípidos en forma de triglicéridos a ácidos grasos liberados constituye el proceso elemental en la aplicación del método para la determinación del perfil de ácidos grasos de una determinada muestra de lípidos, posteriormente se realiza la metilación y finalmente, por medio de la cromatografía de gases (Figura 9), la separación de las moléculas convertidas previamente en ésteres metílicos (Motilva, Ramo, & Romero, 2001). La conversión de ácidos grasos en ésteres metílicos implica variadas metodologías cuyos resultados no siempre reportan datos similares, aunque sí útiles para establecer comparaciones; este hecho es un particular a considerar especialmente cuando se busca evaluar componentes lipídicos

mediante la técnica de cromatografía de gases en acoplamiento a espectrometría de masas.



Figura 9. Cromatógrafo de gases con detector FID. Fuente. (TUBCA, 2015).

Obtenida la fracción lipídica de la muestra en estudio se somete la misma al proceso de saponificación para lograr la liberación de los ácidos grasos gracias a una solución alcalina, NaOH o KOH generalmente en concentraciones que varían en el rango de 0,3 a 1 N en metanol. Además de la metodología mencionada, existen otras técnicas para lograr la obtención de ésteres metílicos basadas en la transesterificación alcalina con metóxido sódico, o el aislamiento de ácidos grasos a partir de la muestra sometida a saponificación por acidificación y posterior derivatización sucesiva del residuo en hexano con soluciones ácidas de metanol 3 N de HCl o de 1 a 2 % de H₂SO₄ en metanol (García & Díaz, 2006).

La aplicación de la metodología de cromatografía de gases en acople a varios tipos de detectores, generalmente el detector de ionización de llama (FID) o la espectrometría de masas para el proceso de separación de componentes no volátiles como los ácidos grasos, permite la identificación de los ácidos que están presentes en menores proporciones en una muestra. Las fases estacionarias polares, elaboradas de materiales sintéticos (cianopropilsilicona y polietilenglicol), obedecen a columnas empleadas para lograr la separación

con base en el número de enlaces dobles de la cadena de una molécula de ácidos grasos de igual número de carbonos. Los ácidos grasos que se pretende determinar en una evaluación de la fracción grasa, y la resolución del proceso, definen el tipo de columnas cuya longitud varía en un intervalo muy amplio como de 30 a 120 metros.

De forma general, los ácidos grasos están presentes en las diferentes muestras de compuestos lipídicos como las grasa y los aceite en altas concentraciones, esto hace que el método mayormente aplicado, sea el denominado con partición (Split). A pesar de ello, hay que mencionar que la discriminación que puede provocarse en el proceso, pues los ácidos grasos menos volátiles podrían evaporarse de forma más lenta en relación a los más volátiles y generar resultados por debajo de los presentados en la literatura. Una manera de evitar este revés, es la utilización de inyección en frío con inyectores on-column y PTV (inyector de temperatura programada) (García & Díaz, 2006).

Una vez analizados los diferentes componentes presentes en una determinada muestra de aceite, se obtiene una respuesta del detector de la concentración del analito en el efluente, la misma está en función de dos factores, del volumen o del tiempo, la representación gráfica arrojada y visualizada en un monitor, se denomina cromatograma (Figura 10). Parámetros como el tiempo de retención, el volumen de retención, el factor de retención, el ancho de pico, la altura de pico, entre otros, son necesarios al momento de interpretar las representaciones gráficas mismas que determinan la presencia y concentración de los componentes analizados en una muestra (MERCOSUR, 2015).

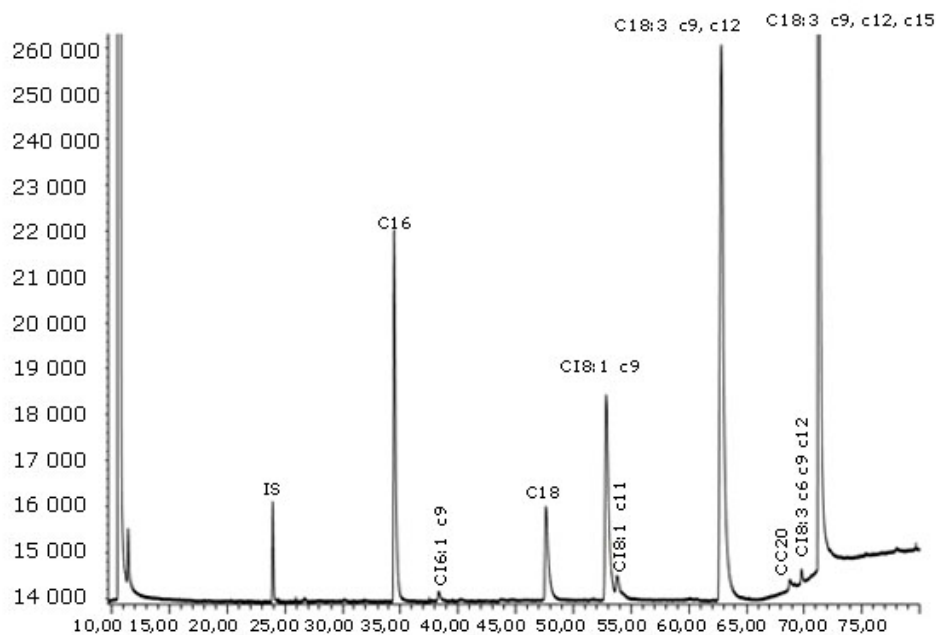


Figura 10. Perfil cromatográfico de ácidos grasos presentes en el aceite de semillas chía. Fuente. (Gutiérrez, y otros, 2014).

Uno de los ámbitos en los que se ha encontrado un mayor número de aplicaciones de las técnicas basadas en la cromatografía de gases es sin duda el área de los alimentos, pues la mencionada metodología permite el conocimiento de determinados componentes y los parámetros permitidos para la elaboración de los mismos, mucho más si estos no forman parte del contenido natural de las diferentes materias primas de interés (Olguín & Rodríguez, 2004).

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

3.1 Hipótesis y variables

3.1.1 *Hipótesis general*

La evaluación química de la fracción lipídica de la semilla de chía, mediante cromatografía de gases, permite el aprovechamiento del ácido graso omega-3 a nivel industrial.

3.1.2 *Hipótesis específicas*

3.1.2.1 La identificación y cuantificación específica del ácido graso omega-3 presente en la fracción grasa de la semilla de chía de tres orígenes, permite su aprovechamiento a nivel industrial.

Ho: $Fg1 = Fg2 = Fg3$

Ha: $Fg1 \neq Fg2 \neq Fg3$

Donde: Fg = Fracción grasa de las semillas de chía.

3.1.2.2 El contenido de ácido graso omega-3 presente en la fracción grasa, depende del origen de la semilla de chía.

Ho: $Cag1 = Cag2 = Cag3$

Ha: $Cag\ g1 \neq Cag\ 2 \neq Cag\ 3$

Donde: Cag = Composición de ácidos grasos de las semillas de chía.

3.1.2.3 La semilla de chía con mayor contenido de ácido graso omega-3, puede recomendarse para su aprovechamiento en la industria de productos panificables.

Ho: $Ag\Omega-3\ 1 = Ag\Omega-3\ 2 = Ag\Omega-3\ 3$

Ha: $Ag\Omega-3\ 1 \neq Ag\Omega-3\ 2 \neq Ag\Omega-3\ 3$

Donde: $Ag\Omega-3$ = Ácidos grasos omega-3 de las semillas de chía.

3.1.3 Identificación de variables

Hipótesis 1:

La identificación y cuantificación específica del ácido graso omega-3 presente en la fracción grasa de la semilla de chía de tres orígenes, permite su aprovechamiento a nivel industrial

Variable Independiente: semillas obtenidas de los tres orígenes.

Variable Dependiente: concentración de grasa de las semillas de los tres orígenes.

Hipótesis 2:

El contenido de ácido graso omega-3 presente en la fracción grasa, depende del origen de la semilla de chía.

Variable Independiente: semillas obtenidas de los tres orígenes.

Variables Dependientes: composición de ácidos grasos de las semillas de los tres orígenes.

Hipótesis 3:

La semilla de chía con mayor contenido de ácido graso omega-3, puede recomendarse para su aprovechamiento en la industria de productos panificables.

Variable Independiente: semillas obtenidas de los tres orígenes.

Variable Dependiente: concentración de ácido graso omega-3 de las semillas de los tres orígenes.

3.2 Tipo y Diseño de la Investigación

Para corroborar los conocimientos teóricos y sustentar la propuesta, fueron aplicadas técnicas de diseño experimental con el fin de alinear los resultados de la investigación. El análisis y consecución de los resultados se fundamentaron en la aplicación de una metodología experimental pura para el control aleatorizado, la manipulación, la observación y la medición de las variables propuestas.

El análisis estadístico aplicado fue un diseño experimental de bloques completamente al azar (DBCA). Para la evaluación de la composición de la fracción grasa de la semilla de chía se analizaron 3 tratamientos (Colta, Cotacachi y Testigo) y 6 repeticiones con la respectiva realización del análisis de varianza (ADEVA). Se realizó además, los análisis de los 3 tratamientos y 3 repeticiones aplicados a los componentes correspondientes al perfil bioquímico de la semilla, obtenido durante la fase experimental de la investigación en semillas de las dos localidades contrastantes en cuanto a condiciones edafoclimáticas y la semilla Testigo con el fin de establecer una comparación con los resultados obtenidos de la fase exploratoria para determinar si existe o no, variación entre medias; esto permitió la identificación y posterior recomendación del cultivo cuyo origen determinó las mejores características según el objetivo tecnológico perseguido.

La operación de tabulación de la información se realizó a través del paquete estadístico Infostat/L. y la comprobación de las hipótesis, mediante la prueba de separación de medias, Tukey.

3.2.1 Unidad de análisis

El sujeto de estudio, constituyeron las muestras de semillas de chía, estas fueron identificadas como el elemento sobre el cual se aplicó los diferentes análisis y como la unidad con actividad biológica de los ácidos grasos omega-3 sobre una acción metabólica puntual, la reducción de los niveles de triglicéridos y colesterol. Para los análisis necesarios, la semilla fue obtenida por compra al por mayor en las localidades de Colta y Cotacachi y, la semilla Testigo, fue adquirida en un supermercado de la ciudad de Quito.

3.2.2 Población de estudio

La población de estudio fue analizada considerando las zonas representativas de la producción de chía en el Ecuador; la semilla de chía se cultiva en un rango bastante amplio de altitudes, así, el cultivo se encuentra

en zonas bajas como de 1400 m.s.n.m. y se cultiva también en zonas altas hasta de 3200 m.s.n.m.

El estudio experimental, permitió que los resultados sean de aplicación a nivel de laboratorio, a partir del cual se podrá establecer el prototipo tecnológico o científico (nivel piloto) como punto de partida para posteriores investigaciones con impacto en el ámbito nacional e internacional.

3.2.3 Tamaño de la muestra

Para la fase experimental, se tomaron muestras de poblaciones de chíá cultivada en dos zonas eco-geográficas de la serranía ecuatoriana y muestras de un producto comercial de semilla de chíá para su estudio a nivel piloto (laboratorio). Se trabajó con muestras de 100 g de semilla del pseudocereal, las mismas fueron sometidas a evaluaciones de dos propiedades físicas como la humedad y el peso. Más adelante, se aplicaron operaciones de transformación para la extracción de aceite mediante el uso de métodos físico-químicos. Se tomaron muestras del aceite extraído y posteriormente este fue sometido a transformaciones bioquímicas para el análisis por cromatografía de gases. A la par, se evaluó el contenido de otro componente energético como la proteína y de los minerales como componente regulador de procesos metabólicos.

3.2.4 Técnicas de recolección de datos

Los datos de la fase experimental fueron tomados a partir de la recolección de la semilla de los tres orígenes correspondientes a dos localidades y una semilla testigo. Posteriormente, se inició con el registro de datos generados en cada uno de los ensayos realizados a nivel de laboratorio. Los datos iniciales fueron los relacionados con el peso y la humedad de la semilla en 3 repeticiones cada muestra. Más adelante, para la extracción del aceite a través del método Soxhlet, los datos fueron registrados diariamente durante 8 días, tiempo en el cual se obtuvo el volumen total de grasa de las 3

repeticiones por cada origen. Una vez obtenida la fracción lipídica de las semillas, se tomaron los datos generados de la caracterización de la grasa mediante la técnica de cromatografía de gases, los mismos fueron registrados y analizados diariamente durante un tiempo de 15 días para 6 repeticiones, estos permitieron la identificación y cuantificación de los ácidos grasos presentes en cada una de las muestras de la semilla. Finalmente, se registraron de forma particular, los datos referentes a la concentración del ácido graso omega-3 de las semillas de los tres orígenes para la identificación de la semilla más abundante en el citado ácido de interés por sus beneficios probados. A la par, y durante el mismo tiempo, fueron registrados los datos correspondientes a los análisis de concentración de proteína y presencia de cenizas de cada muestra. Todos los datos a los que se hace referencia previamente, fueron documentados en un archivo digital de Excel y apoyados por capturas fotográficas.

3.2.5 Análisis e interpretación de la información

Las hipótesis planteadas fueron comprobadas mediante la aplicación de pruebas estadísticas que permitieron sustentar la propuesta del estudio; con base en un DBCA que avalúa la heterogeneidad de los materiales en estudio, se ejerció control local de las variaciones existentes entre el material experimental. Los datos obtenidos de las técnicas aplicadas en la fase exploratoria y la fase experimental, a partir del perfil bioquímico de la semilla y a partir de los análisis de la extracción del aceite y caracterización del mismo, respectivamente, permitieron establecer las comparaciones entre las características de las semillas en cuanto a las variables analizadas (cantidad de grasa, presencia y concentración de ácidos de la serie omega-3), factores cuyo conocimiento resulta en beneficio tecnológico para la formulación de productos alimenticios semielaborados o terminados con efectos positivos sobre la acción de varios componentes bioquímicos relacionados con el metabolismo lipídico, argumento que sustenta la propuesta del cultivo de la semilla cuyo origen la caracteriza como la de mayor contenido de ácidos grasos omega-3 para su aprovechamiento industrial.

3.3 Caracterización del área de estudio

3.3.1 Ubicación

La investigación fue realizada en los laboratorios del Departamento de Nutrición y Calidad de la Estación Santa Catalina del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). La entidad está ubicada en la parroquia Cutuglagua en el cantón Mejía, a una longitud de 78° 23'o, altitud de 3058 m.s.n.m y latitud 00° 22's. La zona se caracteriza por una precipitación de 50.3 mm al año, una temperatura de 21 °C y humedad relativa que varía entre 30-65 %.

Las semillas de chíá, para la selección de las muestras y posterior aplicación de los diferentes análisis fueron obtenidas de dos localidades representativas del cultivo en el Ecuador. La primera zona de estudio constituye la parroquia El Elirio en el cantón Colta, este se encuentra ubicado en la provincia de Chimborazo a una altitud de 3180 m.s.n.m., una longitud de -78.75 y latitud de -1.73; la zona posee una temperatura que varía entre 10-13 °C y goza de una precipitación de 250 a 100 mm anuales; la segunda zona de estudio corresponde a la parroquia denominada Quiroga localizada en Cotacachi, cantón perteneciente a la provincia de Imbabura ubicada a 2418 m.s.n.m de altitud, una longitud de -78.2667 y latitud de 0.3, posee una temperatura que varía en el rango de 15-18 °C y 906 mm anuales de precipitación; por último, fueron evaluadas muestras de semilla de chíá del producto de una marca ampliamente comercial en el país como la muestra Testigo (GAD Cotacachi, 2014), (Gobierno Municipal de Colta, 2014).

3.4 Operacionalización de variables

En función de los objetivos específicos, se planteó el estudio de variables que permitieron el cumplimiento de los mismos. Las variables fueron evaluadas durante dos fases (preliminar y experimental) cuya descripción se detalla en los apartados siguientes.

La fase preliminar del estudio, obedece a la aplicación de pruebas para las variables grasa, proteína, fibra, cenizas y humedad en semillas provenientes de dos localidades de la sierra ecuatoriana. En una segunda fase del estudio, la experimental, se evaluaron las variables: grasa, proteína, cenizas, humedad y peso en muestras de semillas de chíá de las dos localidades en estudio más las muestras de la semilla Testigo, esta información se aprecia en la Tabla 8.

Tabla 8. Variables evaluadas por tratamiento en las fases de estudio (2015 y 2017)

Tratamientos	Variables	Variables fase exploratoria	Variables fase experimental
Colta	Peso (g)	-	x
	Humedad de la semilla (%)	x	x
	Grasa (%)	x	x
	Proteína (%)	x	x
	Cenizas (%)	x	x
Cotacachi	Peso (g)	-	x
	Humedad de la semilla (%)	x	x
	Grasa (%)	x	x
	Proteína (%)	x	x
	Cenizas (%)	x	x
Testigo	Peso	-	x
	Humedad de la semilla (%)	-	x
	Grasa (%)	-	x
	Proteína (%)	-	x
	Cenizas (%)	-	x

Fuente. Elaboración propia.

La mayoría de variables analizadas fueron replicadas de una fase a otra para corroborar los resultados iniciales y se estudiaron además otras variables de importancia como la concentración de fibra, en la fase preliminar o exploratoria y el peso en la fase de experimentación. La evaluación de las variables mencionadas se realizó con el fin de establecer la relación entre los diferentes componentes bioquímicos y la concentración, presencia de ácidos grasos y concentración del ácido graso omega-3 de la materia grasa en función de los tres orígenes de la semilla de chía.

3.4.1 Fase preliminar

La fase exploratoria del estudio se caracterizó por la evaluación de las variables que representan el perfil bioquímico (análisis proximal) de la semilla de chía: concentración de grasa, concentración de proteína, presencia de fibra, contenido de cenizas y contenido de humedad. Estos datos fueron obtenidos a partir de los análisis realizados en laboratorio, los mismos que fueron utilizados para la comparación con los resultados de los análisis realizados de forma experimental en la segunda fase del estudio.

3.4.1.1 Análisis proximal de la semilla

Para establecer la comparación entre las variables analizadas se realizaron las pruebas pertinentes para determinar la concentración de los componentes bioquímicos de la semilla de chía, según la metodología descrita en la Tabla 9. El análisis químico proximal, llevado a cabo en la fase exploratoria, corresponde a la composición en los denominados nutrientes energéticos y reguladores, y contenido acuoso.

Tabla 9. Métodos aplicados para el análisis proximal de la semilla de chía 2015

Descripción	Grasa (%)	Proteína (%)	Cenizas (%)	Humedad (%)
Método	A.O.A.C. 1997. Nº 920.39 Dpto. Nutrición y Calidad INIAP.	A.O.A.C. 1997. Nº 920.152 Dpto. Nutrición y Calidad INIAP	MO-LSAIA-01.02	MO-LSAIA-01.01

Fuente. (INIAP, 2015).

3.4.2 Fase experimental

Las técnicas utilizadas para llevar a cabo la determinación de las propiedades físico-químicas de la semilla durante la fase de experimentación del estudio se describen a continuación.

3.4.2.1 Análisis del peso (g) de la semilla

La viabilidad es un atributo de las semillas que determina la susceptibilidad de desarrollo de una nueva plántula, aún si las condiciones ambientales no son óptimas (Peretti, 1994); así, se determinó una de las propiedades que validan la calidad de la semilla para un buen establecimiento del cultivo. El análisis se realizó con base en el peso de 1000 granos de la semilla.

3.4.2.1.1 Materiales y equipos

- Muestras de semilla de los tres orígenes
- Pocillos de aluminio
- Balanza analítica

3.4.2.1.2 Método

Se tomó las muestras de semillas de chía de cada origen, sin tratamiento alguno, y se procedió al conteo de 1000 granos de cada una, estas fueron colocadas en pocillos de aluminio como se puede observar en las Figuras 11, 12 y 13 y, posteriormente, en una balanza para la determinación del peso real de cada nueva muestra.



Figura 11. Muestra de 1000 semillas de la localidad de Colta. Fuente. Elaboración propia.



Figura 12. Muestra de 1000 semillas de la localidad de Cotacachi. Fuente. Elaboración propia.

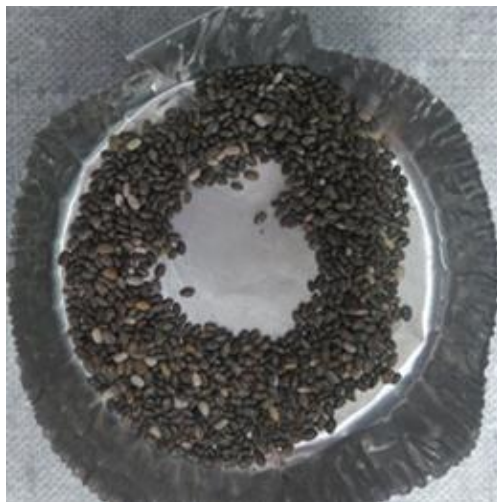


Figura 13. Muestra de 1000 granos de la semilla Testigo. Fuente. Elaboración propia.

3.4.2.2 Análisis de humedad

El análisis del contenido de agua, se obtuvo a partir del porcentaje de materia seca de las semillas. Este procedimiento se realizó en una estufa que proporcionó calor para provocar la reducción de humedad de la muestra por volatilización.

3.4.2.2.1 Materiales y equipos

- Muestras de semilla de los tres orígenes
- Pocillos de aluminio
- Estufa Imperial V Laboratorio Oven
- Balanza analítica (SHIMADZU AUX 220)

3.4.2.2.2 Método

Las condiciones aplicadas a las muestras de 2 g de semilla de cada origen, según lo observado en la Figura 14, fueron de 105 °C de temperatura y un tiempo aproximado de 17 horas. La masa correspondiente a la materia

residual, una vez terminado el proceso, permitió establecer, por diferencia, el porcentaje de humedad de la semilla.



Figura 14. Determinación de la humedad de las muestras de semilla de chíá de los tres orígenes. Fuente. Elaboración propia.

El cálculo de la humedad fue determinado en función de la Ecuación 1 que figura a continuación:

$$H = \frac{Prms - Pr}{Prmh - Pr} \times 100$$

Ecuación 1

Donde:

H = porcentaje de humedad

Pr = peso envase

Prms = peso envase más muestra seca

Prmh = peso envase más muestra húmeda

3.4.2.3 Análisis de la fracción lipídica de la semilla

3.4.2.3.1 Acondicionamiento de la semilla

La primera operación de preparación de las muestras consistió en reducir el tamaño de partícula de la semilla, esta se realizó con el fin de aplicar las pruebas alcanzando mayor eficacia en los resultados dada la presencia de pericarpio conformado por fibrillas de celulosa, el mismo puede impedir la completa salida de los componentes de interés si no se provoca la ruptura.

3.4.2.3.1.1 Materiales y equipos

Los materiales y equipos utilizados durante la etapa de acondicionamiento, fueron los descritos a continuación.

- Muestras de semilla de los tres orígenes
- Molino renovable Ginding Chamber 80350
- Congelador convencional
- Balanza analítica SHIMADZU AUX 220

3.4.2.3.1.2 Método

Inicialmente, fueron pesadas tres muestras de 100 g de semilla de cada uno de los orígenes en una balanza analítica, posteriormente, estas se sometieron a congelación en un congelador convencional durante un tiempo de 24 horas a una temperatura de -29 °C y finalmente, las semillas fueron sometidas a la operación de molienda en un molino renovable; esta última operación permitió la obtención de harina de chía de molienda gruesa como se observa en la Figura 15.



Figura 15. Harina de semilla de chía de molienda gruesa. Fuente. Elaboración propia.

Las muestras acondicionadas en forma de harina de gruesa granulometría, fueron colocadas en botellas plásticas, debidamente etiquetadas para garantizar su conservación hasta la aplicación de las diferentes pruebas posteriores, como se observa en la Figura 16.



Figura 16. Muestras de harina de chía de los tres orígenes. Fuente. Elaboración propia.

3.4.2.3.2 Extracción de la grasa de las semillas

Según la propuesta de estudio de variables y para el cumplimiento del primer objetivo, se extrajo la fracción grasa de la semilla de chía aplicando la

operación de molienda previo a la extracción. La determinación de la variable *cantidad de grasa* se realizó mediante la extracción del aceite de las semillas con la utilización del solvente éter de petróleo a través del método Soxhlet; este tiene su base en el principio físico-químico de solubilización de grasas al ser evaporado un solvente por acción del calor; la solubilidad de las moléculas lipídicas de las muestras hizo posible la obtención de la grasa mediante el arrastre de los lípidos en el solvente. Así, se obtuvo la cantidad de materia grasa presente en cada muestra analizada, las mismas fueron recogidas en los respectivos balones para ser sometida a posteriores pruebas.

3.4.2.3.2.1 Materiales y equipos

- Muestras de semilla de los tres orígenes
- Papel filtro
- Capuchones de celulosa
- Motas de algodón
- Éter de petróleo
- Tubos de vidrio
- Balones base plana
- Extractor Soxhlet
- Tubo condensador
- Mangueras
- Agua corriente
- Estufa Imperial
- Balanza analítica

3.4.2.3.2.2 Método

El procedimiento comenzó tomando datos del peso inicial de los balones secados en la estufa a 105 °C por un tiempo de 2 horas y previamente enfriados, este procedimiento se observa en la Figura 17.



Figura 17. Balones acondicionados para la extracción de aceite por Soxhlet. Fuente. Elaboración propia.

En seguida, los dedales de celulosa, se cubrieron con filtros de papel para colocar una cantidad de semilla equivalente a 5 g, los dedales fueron cubiertos, en la parte superior, con una mota de algodón y colocados en el interior del extractor Soxhlet como se observa en la Figura 18. Inmediatamente, se ubicaron los tubos sobre balones de base plana con capacidad para 250 ml, estos fueron dispuestos sobre una estufa como fuente de calor a una temperatura de 400 °C, se colocó el tubo condensador sobre el extractor Soxhlet, se activó el agua corriente y se dejó el sistema por un tiempo de duración de 12 horas.



Figura 18. Muestras de harina de chía en los extractores Soxhlet. Fuente. Elaboración propia.

Después de transcurrido el tiempo, se recuperó el solvente utilizado, en seguida, los dedales fueron sometidos a calor en la estufa a 105 °C durante un tiempo de 12 horas. Los balones también fueron secados por un tiempo de 2 horas para lograr la evaporación del solvente residual. Finalmente, se dejaron enfriar y posteriormente se pesaron las muestras de grasa y se conservaron las mismas en tubos de vidrio (Figura 19).



Figura 19. Muestras de aceite obtenidas de la extracción por Soxhlet.
Fuente. Elaboración propia.

La determinación de la fracción grasa de las diferentes muestras de semilla se calculó usando la Ecuación que sigue:

$$EE = \frac{Phr - Ph}{Pm} \times 100$$

Ecuación 2

Donde:

EE = Extracto etéreo (fracción grasa)

Ph = Peso envase

Phr = Peso envase más residuo

Pm = Peso de muestra

3.4.2.3.3 Caracterización de la fracción grasa de la semilla

En el estudio de la variable *composición de la grasa*, se aplicó un análisis de componentes lipídicos mediante el uso de la técnica de cromatografía de gases, método que permitió la identificación y cuantificación de los ácidos grasos saturados e insaturados presentes en la fracción lipídica de las semillas. Así, se realizó un análisis comparativo de la concentración del ácido graso omega-3 presente en las semillas de las dos localidades en estudio y de la semilla testigo; esta comparación permitió identificar la relación existente entre el contenido de ácido graso omega-3 y el origen de la semilla de chía.

Las muestras de los lípidos totales obtenidos del procedimiento citado anteriormente, fueron sometidos a un proceso de saponificados para la obtención de los ácidos grasos libres, inmediatamente, al ser compuestos no volátiles, fueron esterificados en metilésteres para el posterior análisis por cromatografía de gases.

3.4.2.3.3.1 Materiales, reactivos y equipos

- Muestras de aceite extraído de las semillas
- Solvente hexano
- Hidróxido de potasio (en metanol 0,5 M)
- Ácido clorhídrico (en metanol 4:1 v/v)
- Agua bidestilada
- Metanol (grado HPLC)
- Sulfato de sodio (anhidro)
- Micropipeta (100 µl)
- Micropipeta (1000 µl)
- Viales (2 ml)
- Tubos de ensayo con tapa rosca
- Vasos de precipitación

- Pipetas Pasteur
- Pera de succión
- Gradilla
- Espátula
- Cromatógrafo de gases con detector FID marca Agilent Technologies.
- Columna capilar fusionada de sílica SUPELCO con espesor de película de 100 m x 0,25 mm x 0,2 μ m
- Balanza analítica de precisión 0,1 mg Shimadzu, Modelo LIBROR-AEG-220
- Agitador de tubos
- Baño María

3.4.2.3.3.2 Método

Para la identificación y cuantificación de los ácidos grasos presentes en la fracción lipídica de la semilla de chía, obtenida mediante extracción por Soxhlet, se preparó una solución de KOH en CH_4 0,5 M. Para ello, se pesó 2,8 g de KOH en un balón de 100 ml y se aforó con CH_4 de grado HPLC. Una segunda solución preparada consistió en HCl en CH_4 4:1 v/v, esta se transfirió con una probeta en un volumen de 80 ml a un balón de 100 ml y se aforó con CH_4 de grado HPLC.

Posteriormente, se pesó 0,05 g de cada muestra del aceite previamente obtenido, estas fueron colocadas en tubos de ensayo para la posterior adición de 1 ml de solución de KOH en CH_4 0,5 M como se muestra en la Figura 20.



Figura 20. Adición de KOH a muestras de aceite. Fuente. Elaboración propia.

En seguida, los tubos fueron cubiertos con teflón y sellados con tapas de rosca, esto se llevó a cabo para evitar la evaporación de los solventes, base de los reactivos utilizados. Se verificó el correcto sellado de los tubos y se colocaron en baño María hasta alcanzar la ebullición durante 10 minutos. Cumplido el tiempo establecido, los tubos fueron retirados del baño María y desprovistos de la tapa para la posterior adición de 0,4 ml de la solución de HCl en CH_4 4:1 v/v como se observa en la Figura 21. Finalmente, los tubos fueron sellados y colocados una vez más en el baño María hasta alcanzar la ebullición durante un periodo de 5 minutos.



Figura 21. Adición de HCl a las muestras de aceite. Fuente. Elaboración propia.

Una vez que transcurrió el tiempo determinado para el proceso, los tubos fueron extraídos del baño María para su posterior enfriamiento a temperatura ambiente. Luego de enfriados los tubos, se añadió 2 ml de agua bidestilada seguida de 3 ml de C_6H_{14} , se agitaron los tubos por un periodo de 10 segundos y se dejó reposar en la gradilla hasta alcanzar la separación total de las fases formadas. Más adelante, con ayuda de una pipeta Pasteur, se extrajo la fase orgánica (fase ubicada, después del reposo, en la sección superior del tubo) para ser colocada en un tubo de ensayo nuevo como se puede apreciar en la Figura 22. Este último procedimiento, se repitió por tres ocasiones.



Figura 22. Fase orgánica extraída después del baño María. Fuente. Elaboración propia.

Finalmente, se adicionó una solución de Na_2SO_4 a las muestras de la fracción extraída presente en los tubos y posteriormente se dejaron en reposo para ser secados con N a temperatura del ambiente, este procedimiento se observa en la Figura 23.

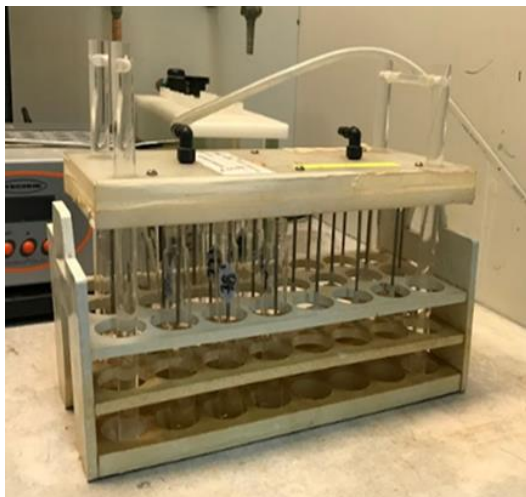


Figura 23. Muestras en tubos secadas con N. Fuente. Elaboración propia.

La adición de C_6H_{14} de forma repetida en las muestras de aceite tratado, se realizó con el fin de lograr la separación de fases y posteriormente extraer la fase orgánica (fase superficial superior) para la subsiguiente inyección en el cromatógrafo.

Después de secos los tubos, las muestras fueron concentradas con un volumen de 2 ml de C_6H_{14} , se agitaron por un tiempo de 10 segundos, se colocaron en los respectivos viales y, por último, fueron inyectados en el equipo para el análisis por cromatografía de gases, esto se observa en la Figura 24.



Figura 24. Cromatógrafo de gases con detector FID. Fuente. Elaboración propia

La presencia y contenido de ácidos grasos, una vez preparadas las muestras, se determinó mediante cromatografía de gases con detector FID. Los ácidos grasos fueron separados utilizando una columna capilar con espesor de película de 100 m x 0,25 mm i.d. x 0,20 μm . como fase estacionaria; la temperatura del horno del equipo fue programada a 140 °C (5 minutos), hasta alcanzar 240 °C (15 minutos). Se utilizó el inyector a 260 °C con un volumen de inyección de 2 μl , Split: 40:1 (Figuras 25, 26 y 27) y, como fase móvil, el gas portador Helio a una velocidad de 20cm/s a 175 °C. Para concluir este análisis, se realizó una comparación de los tiempos de retención de las muestras con los de un patrón determinado.



Figura 25. Inyector del cromatógrafo de gases. Fuente. Elaboración propia.

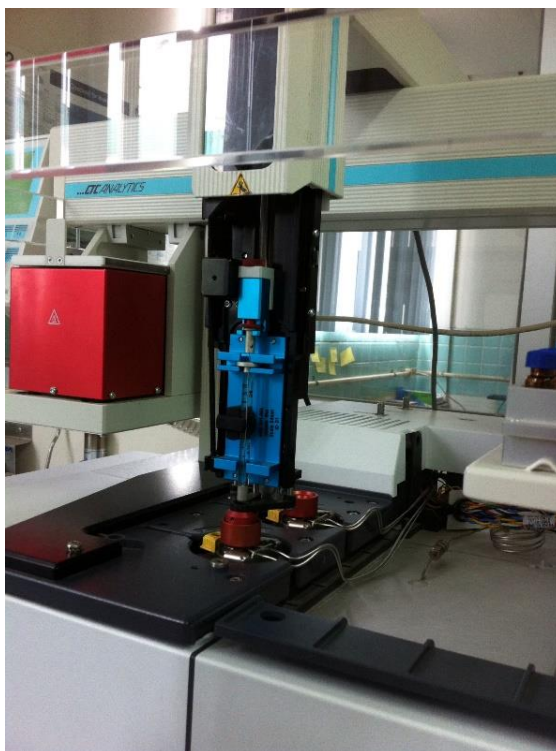


Figura 26. Acople del inyector a la plataforma de inyección. Fuente. Elaboración propia.



Figura 27. Muestras listas para la inyección. Fuente. Elaboración propia.



Figura 28. Inyección de muestras para la separación de ácidos grasos.
Fuente. Elaboración propia.

Los ácidos grasos pertenecientes a la familia omega con énfasis especial en el contenido del ácido graso alfa-linolénico (omega-3) fueron identificados y cuantificados por cromatografía de gases para el análisis comparativo entre las semillas de los tres orígenes en estudio. A partir de lo mencionado y de forma concluyente, se realizó la selección de la semilla de chía más abundante en ácido graso omega-3 para la posterior recomendación del cultivo.

3.4.2.3.4 Selección de la semilla con mayor contenido de ácido graso omega-3

Para el cumplimiento del objetivo tres, se identificó el material vegetal de chía cuya composición de ácido graso omega-3 fue superior. Esta evaluación se realizó a partir del análisis estadístico aplicado para el citado componente graso con base en la comparación de medias obtenidas. Así, el análisis comparativo, permitió evidenciar una mayor concentración de omega-3 en

una de las semillas de los tres orígenes en estudio para la recomendación de su cultivo y aprovechamiento en la línea de producción de farináceos.

3.4.2.4 Análisis del contenido de proteína de la semilla (g)

Como la grasa, la fracción proteica constituye uno más de los nutrientes energéticos cuya presencia incide en el contenido del resto de componentes de la semilla. La determinación de la fracción proteica de la semilla de chía de las dos localidades y de la semilla Testigo, se realizó mediante las fases de digestión, destilación y posterior titulación de las muestras.

3.4.2.4.1 Materiales y equipos

Los materiales utilizados constituyeron varios reactivos necesarios para generar las reacciones químicas que permitieron la identificación de la proporción de proteína presente en las diferentes muestras de semilla de chía. Los materiales y equipos que fueron utilizados para las citadas fases, se listan a continuación:

- Ácido sulfúrico de grado técnico
- Ácido sulfúrico concentrado (95-97%)
- Solución de ácido bórico
- Balones Kjeldhal (800 ml)
- Erlenmeyer (500 ml)
- Agitadores magnéticos
- Balanza analítica (0,1 mg) Shimadzu, LIBROR AEG-220
- Digestor Kjeldhal
- Titulador Kjeldhal

3.4.2.4.2 Métodos

Las tres fases aplicadas para la determinación de la fracción de proteínas presente en las muestras de semilla de chía son descritas a continuación:

3.4.2.4.2.1 Digestión de las muestras

Esta primera fase se llevó a cabo con la preparación de una muestra de semilla equivalente a 2.0 g. Una vez preparadas las muestras de semilla de los tres orígenes fueron depositadas en el interior del tubo de digestión como se aprecia en la Figura 29; posteriormente, se colocó 40 ml de ácido sulfúrico más 4 g de mezcla para la catalización de las reacciones químicas; este procedimiento puede observarse en la Figura 30.



Figura 29. Muestra en tubos de digestión. Fuente. Elaboración propia.



Figura 30. Adición de ácido sulfúrico en las muestras. Fuente. Elaboración propia.

Preparadas todas las muestras, se procedió a colocar los tubos dentro del digestor a una temperatura inicial de 100 °C hasta alcanzar, al cabo de 30', una temperatura de 400 °C; este procedimiento se observa en la Figura 31. Al

transcurrir un tiempo aproximado de 50', la muestra adquirió una coloración verde oscuro hasta tornarse transparente con una ligera tonalidad verde claro, producida al cabo de 90'; este cambio de coloración es indicativo de que la materia orgánica está completamente consumida. Las reacciones químicas generadas durante este proceso, provocaron que el nitrógeno (N) presente en la estructura de las proteínas en reacción con otros componentes genere la formación de sulfato de amonio $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Finalmente, los tubos fueron retirados del digestor y colocados al ambiente para su posterior enfriamiento.



Figura 31. Tubos en el interior del digestor. Fuente. Elaboración propia.

3.4.2.4.2 Destilación de las muestras

Enfriadas las muestras digeridas, los tubos fueron colocados en el digestor-titulador Kjeldhal. Aquí, los residuos de las muestras fueron diluidos con 400 ml de agua destilada y 120 ml de hidróxido de sodio (NaOH) al 50 % para la liberación del radical amonio (NH_4), inmediatamente, el residuo fue destilado e incorporado en una solución de 70 ml de ácido bórico (H_3BO_3) al 4 %, así, la solución quedó lista para la titulación con ácido sulfúrico (H_2SO_4) estandarizado. Estos procedimientos automáticos, dieron lugar a la identificación de la concentración de la fracción proteica presente en las muestras de semillas de chía.

3.4.2.4.2.3 Titulación de las muestras

El residuo destilado se tituló con ácido sulfúrico (H_2SO_4) 0.3 N con una mínima cantidad de indicador mixto para provocar el cambio de coloración. Al cabo de varias horas, todas las muestras fueron tituladas (Figura 32), requiriendo alrededor de 40 minutos aproximadamente, cada una.



Figura 32. Titulador Keldhal. Fuente. Elaboración propia.

El cálculo para la determinación de la fracción proteica de la semilla de chíca se determinó a través de la Ecuación 3.

$$P = \frac{(Ma - Mb) \times N \times 0.014 \times 6.25}{Pm} \times 100$$

Ecuación 3

Donde:

P= % de proteína

N= normalidad (ácido titulante)

Ma= ml (ácido requerido por la muestra)

Mb= ml (ácido requerido como blanco)

Pm= peso de muestra (g)

6.25= factor de conversión de nitrógeno de la proteína

3.4.2.5 Análisis de minerales de la semilla de chía (mg)

Las pruebas para la determinación de los minerales totales fueron aplicadas a las muestras de la semilla transformadas inicialmente en cenizas. La materia inorgánica resultante fue obtenida mediante el proceso de incineración.

3.4.2.5.1 Materiales y equipos

Los materiales y equipos utilizados para el análisis de minerales en las muestras incineradas son descritos a continuación:

- Ácido sulfúrico
- Dicromato de potasio
- Solución sulfocrómica (20 g de dicromato de potasio en 120 ml de agua, diluidos en 800 ml de ácido sulfúrico)
- Crisoles de porcelana con tapa
- Pinza metálica
- Espátula
- Balanza analítica 0,1 mg (Shimadzu, LIBROR AEG-220)
- Mufla
- Estufa
- Desecador
- Plancha calentadora

3.4.2.5.2 Método

Inicialmente, los crisoles fueron tratados con solución sulfocrómica durante un tiempo aproximado de 2 horas, posteriormente, estos fueron lavados con agua destilada y luego secados a una temperatura de 105 °C. Una vez enfriados los crisoles, fueron introducidos a horneado a temperaturas de 550 °C durante 2 horas. Transcurrido el tiempo determinado para el proceso, los crisoles fueron retirados en un desecador y sometidos a enfriamiento. Más adelante, los

crisoles se pesaron y se colocó alrededor de 2 g de muestra de semilla en su interior; los mismos fueron colocados en la mufla a una temperatura de 500 °C durante 16 horas, tiempo en el cual las muestras se presentaron totalmente calcinadas. Posteriormente, las muestras se retiraron de la mufla para su enfriamiento y final pesado. Este procedimiento puede observarse en la Figura 33.



Figura 33. Cenizas obtenidas de la calcinación de las muestras de semilla de chía. Fuente. Elaboración propia.

La Ecuación 4 a continuación, fue utilizada para la determinación del porcentaje de cenizas, fracción equivalente a los minerales totales presentes en las muestras de semilla analizadas.

$$C = \frac{P_{cz} - P_c}{P_{cm} - P_c} \times 100$$

Ecuación 4

Donde:

C = % de cenizas

P_c = peso crisol

P_{cz} = peso crisol más ceniza

P_{cm} = peso crisol más muestra

CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La presente investigación se efectuó en dos fases de estudio. La ejecución del mismo, para la aplicación de pruebas (preliminares y definitivas) y posterior recolección de datos, se realizó a partir del año 2015 y culminó en el año 2017; esta se llevó a cabo con el aporte de varios estudios de pregrado.

El análisis estadístico aplicado en la investigación consistió en un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) mismo que avalúa la heterogeneidad entre los materiales experimentales y ejerce control local de las variaciones entre las unidades experimentales; este fue aplicado en un número diferente de repeticiones según la variable evaluada. La determinación del peso, la humedad, la fracción grasa, la fracción proteica y las cenizas, fueron evaluadas en tres repeticiones por cada origen de la semilla. Para la caracterización de la fracción grasa de la chía, se extrajo el volumen de aceite presente en la semilla a partir del cual fueron identificados y cuantificados los ácidos grasos existentes y estos fueron evaluados en seis repeticiones por cada origen en estudio.

Los resultados generados a partir de los análisis aplicados a las diferentes semillas, permitieron la identificación de la relación existente entre la concentración de ácidos grasos omega-3 y el origen de la semilla. Finalmente, y con base en la evaluación previamente citada, se seleccionó el material, según el origen, más abundante en el ácido graso omega-3 para la recomendación de su cultivo y aprovechamiento a nivel tecnológico.

4.1 Propiedades físico-químicas de la semilla de chía

4.1.1 Fase exploratoria

Los resultados de la fase preliminar de la investigación fueron obtenidos con el fin de establecer comparaciones con los datos obtenidos de la fase experimental en función de la concentración de los componentes que conforman el perfil bioquímico de una semilla.

4.1.1.1 Perfil bioquímico

Los análisis para determinar la composición bioquímica de la semilla de chía se realizaron mediante la aplicación de pruebas de laboratorio que permitieron conocer el perfil bioquímico de la semilla de las dos localidades en estudio. Los promedios resultantes se pueden visualizar en la Tabla 10. La información obtenida, revela que los contenidos de grasa y proteína son superiores en las localidades de Colta en relación a la concentración de los mismos componentes de la semilla producida en Cotacachi; en cuanto a la cantidad de fibra y ceniza, los mayores porcentajes se encontraron en la semilla de la localidad de Cotacachi. Estos datos permiten inferir que existe incidencia de las características del ambiente sobre la composición bioquímica de la semilla de chía. Es importante indicar que la localidad de Colta se encuentra ubicada a una altitud muy superior a la de Cotacachi y una temperatura significativamente inferior como puede observarse en los datos expuestos en la sección 3.3.1 del capítulo anterior.

Tabla 10. Perfil bioquímico (%) de la semilla de chía en dos localidades de la Sierra ecuatoriana, 2015.

Localidad	Grasa (%)	Proteína (%)	Fibra (%)	Cenizas (%)	Humedad (%)
Colta	31.48	24.64	19.48	4.70	5.86
Cotacachi	24.41	21.61	30.82	5.20	5.54

Fuente. Elaboración propia.

Estos resultados concuerdan con lo reportado por Hidalgo, Brandolini y Ratti (2009) en su estudio acerca de la evaluación del efecto del genotipo, época y localidad sobre la concentración de proteína, lípidos y ácidos grasos de semillas de una especie de cereal, concluyendo que los mencionados factores inciden sobre la composición química de las semillas. Por tanto, las diferencias encontradas en el perfil bioquímico de las dos muestras de semillas de chía, se atribuye a distintos factores, entre los cuales figuran la especie, la variedad, el sitio de procedencia (lugar geográfico), la estacionalidad y otros factores agronómicos.

4.1.2 Fase experimental

El análisis estadístico aplicado a las diferentes variables, evaluadas durante la fase experimental, mostró resultados que son discutidos en los siguientes apartados. Se presenta los análisis de varianza de cada una de las variables estudiadas y el análisis funcional de las mismas para la identificación de diferencias estadísticas.

4.1.2.1 Peso de la semilla (g)

Los datos originales para el análisis de varianza aplicado a la variable peso de la semilla, se presentan en la Tabla 11. En los resultados del análisis, se encontró diferencias altamente significativas entre los tratamientos evaluados (Tabla 12), lo que permite concluir que no se rechaza la hipótesis alternativa (H_a). El coeficiente de variación fue de 5.29.

Tabla 11. Datos para análisis de peso de la semilla

Repetición	Tratamiento	Peso (g)
1	1	1.52
1	2	1.26
1	3	1.00
2	1	1.50
2	2	1.21
2	3	1.03
3	1	1.40
3	2	1.31
3	3	1.10

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 12. Análisis de varianza del peso (g) de semillas de chía provenientes de dos localidades y una semilla Testigo, 2016.

FdeV	GL	CM	p-valor
Total	8	-	-
Tratamientos	2	0.14	0.0036**
Repeticiones	2	0.00041	-
Error	4	0.0044	-

CV(%)=5.29

**diferencias estadísticas al 1%.

Fuente. Elaboración propia.

En la Tabla 13, se presentan los promedios del peso de la semilla de los tres tratamientos, pudiéndose observar que el peso de la semilla de chía proveniente de la localidad de Colta (1.47 g) es mayor que el peso de la semilla de Cotacachi (1.26 g) y ambas con un peso mayor en relación a la semilla Testigo (1.04 g). Comparando las semillas de las dos localidades en estudio, los datos obtenidos sugieren que, en condiciones de temperatura y humedad ambiental más bajas, el ciclo de vida de la planta es más prolongado; esta información se corrobora con los resultados de un estudio realizado por (Hernández & Miranda, 2008) en el que se evalúa varias características morfológicas, entre las cuales figura el peso de la semilla, en

plantas de chíá cultivadas en diferentes zonas edafoclimáticas de México y Centroamérica donde se concluye que, el ciclo de cultivo es el factor de mayor peso entre grupos de plantas, lo que indica el efecto de las condiciones ambientales de una zona geográfica sobre la duración del ciclo del cultivo y por ende, sobre las diferenciaciones morfológicas de la planta; por tanto, ciclos más largos de cultivo, permite que las estructuras fisiológicas, especialmente la semilla, cuente con un periodo de tiempo mayor para acumular reservas energéticas, lo que redundaría en la ganancia de peso. Respecto del menor peso de la semilla Testigo, puede deberse a las operaciones aplicadas previo al empaque del producto para garantizar la estabilidad del mismo; el tiempo de vida útil es un factor que determina la calidad de un alimento y, una de las operaciones que incrementa el tiempo de durabilidad de un producto, es la reducción de humedad, operación que deriva en la reducción del peso de la semilla.

Tabla 13. Promedios, desviación estándar y prueba de Tukey (5 %) del peso (g) de la semilla de chíá proveniente de dos localidades y una semilla Testigo, 2016.

Tratamiento	Localidad	Media/Desvest/Rango
1	Colta	1.47±0.064 c
2	Cotacachi	1.26±0.050 b
3	Testigo	1.04±0.051 a

Promedios seguidos de la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo a la prueba de Tukey (5 %)

Fuente. Elaboración propia.

La diferencia fue evidente en cuanto al mayor peso obtenido de la semilla proveniente de la localidad de Colta por las condiciones climáticas expuestas previamente. La Figura 34, según el reporte estadístico, muestra claramente las diferencias citadas.

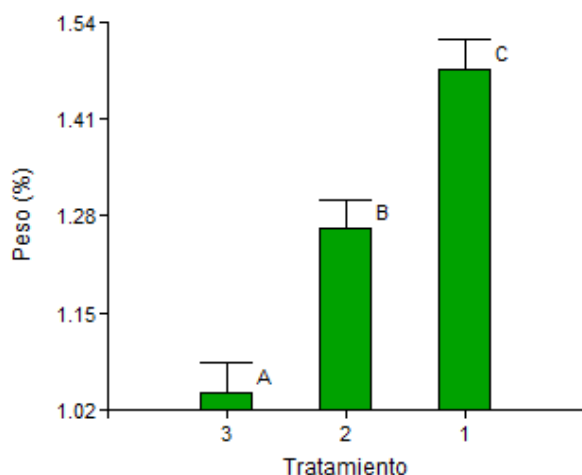


Figura 34. **Peso de la semilla por tratamiento.** Fuente. Elaboración propia.

4.1.2.2 Análisis de humedad (%) de la semilla

El análisis estadístico aplicado a la variable humedad (Tabla 14), evidenció diferencias significativas entre los tratamientos como se observa en la Tabla 15. La humedad de la semilla de Colta asciende a 7,05 %, la semilla de Cotacachi a 6,84 % y la semilla Testigo 6,21 % con un coeficiente de variación de 3.36. Así, la semilla de Colta figura como la de mayor humedad respecto de la semilla del sector de Cotacachi y la semilla Testigo.

Tabla 14. **Datos para análisis de humedad de la semilla de chíá**

Repetición	Tratamiento	Humedad (%)
1	1	7.42
1	2	6.86
1	3	6.51
2	1	6.54
2	2	6.74
2	3	6.03
3	1	7.19
3	2	6.91
3	3	6.08

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 15. Análisis de varianza de la humedad de semillas de chía (%) provenientes de dos localidades y una semilla Testigo, 2016.

FdeV	GL	CM	p-valor
Total	8	-	-
Tratamientos	2	0.58	0.0223*
Repeticiones	2	0.18	-
Error	4	0.05	-

CV(%)=3.36

*diferencias estadísticas al 5%.

Fuente. Elaboración propia

Las diferencias estadísticas encontradas en el análisis, permitieron probar las hipótesis del estudio, estas diferencias, sugieren no rechazar la hipótesis alternativa (Ha). La diferencia entre medias de tratamientos para la variable humedad, mediante la aplicación de la prueba de Tukey, se observan en la Tabla 16; la forma gráfica evidencia estos resultados y puede apreciarse en la Figura 35.

Tabla 16. Promedios, desviación estándar y prueba de Tukey (5 %) de la humedad (%) de semillas de chía de dos localidades y una semilla Testigo, 2016.

Tratamiento	Localidad	Media/Desvest/Rango
1	Colta	7.05±0.456 b
2	Cotacachi	6.84±0.087 ab
3	Testigo	6.21±0.264 a

Promedios seguidos de la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo a la prueba de Tukey (5 %)

Fuente. Elaboración propia.

Estos resultados son comparables con los datos obtenidos en un estudio enfocado en la composición bioquímica de semillas de chía con el objetivo de caracterizar químicamente a diferentes semillas oleosas; en el citado estudio, realizado por Jiménez, Masson y Quitral (2013) se determinó que las semillas de chía contienen un 7,3 % de humedad, resultado arrojado de un análisis realizado a través de la técnica de desecación en estufa. La evidente diferencia del contenido de humedad entre semillas, podría deberse

a que este factor es variable en función de la etapa del cultivo y de la aplicación de labores posteriores a la cosecha, operaciones tomadas en cuenta dependiendo del objetivo tecnológico perseguido para las materias primas vegetales, especialmente durante el almacenamiento del grano, donde la humedad es reducida de forma intencional para incrementar el tiempo de vida útil del producto, esto puede explicar la baja humedad en la semilla Testigo.

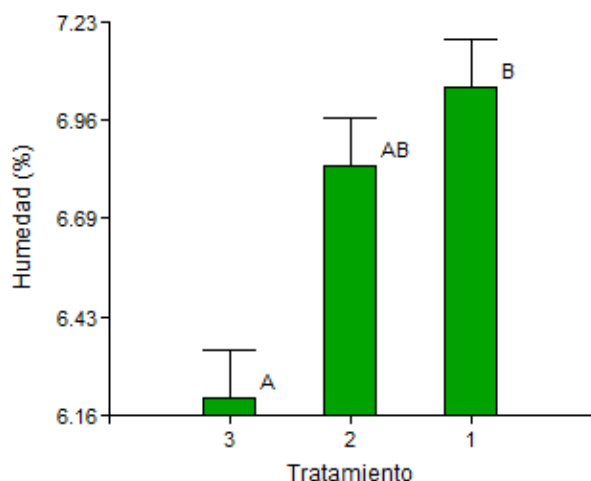


Figura 35. Humedad de la semilla por tratamiento. Fuente. Elaboración propia.

4.2 Composición bioquímica de la semilla de chíá

4.2.1 Extracción de la fracción lipídica (%) de la semilla

Realizado el análisis con base en los datos de la Tabla 17, se mostró el análisis de la varianza (Tabla 18). Los resultados porcentuales para la variable concentración de grasa de la semilla de las localidades Colta, Cotacachi y de la semilla Testigo fueron 36,33 %, 35,80 % y 36,13 % respectivamente, con un coeficiente de variación de 2.14. Aunque numéricamente diferentes, estos resultados no reportaron diferencias estadísticas entre tratamientos.

Tabla 17. Datos para análisis de la fracción grasa de la semilla

Repetición	Tratamiento	Grasa (%)
1	1	37.31
1	2	35.18
1	3	36.32
2	1	36.03
2	2	35.72
2	3	36.21
3	1	35.66
3	2	36.53
3	3	35.86

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 18. Análisis de varianza de la grasa de semillas de chía provenientes de dos localidades y una semilla Testigo, 2016.

FdeV	GL	CM	p-valor
Total	8	-	-
Tratamientos	2	0.21	0.7249n.s.
Repeticiones	2	0.07	-
Error	4	0.6	-

CV(%)=2.14

n.s. no significativo

Fuente. Elaboración propia.

La aplicación de la prueba de Tukey, permitió la comprobación de las hipótesis planteadas en el estudio y, al no reportar diferencias estadísticas entre tratamientos, no se rechaza la hipótesis nula (H_0) misma que asevera que todos los tratamientos son iguales en cuanto al contenido de grasa. Esta evidencia puede observarse claramente en los datos reportados en la Tabla 19.

Tosco (2014), en su estudio relacionado con las ventajas del consumo de la semilla de chía tanto en el organismo humano como animal, cuyo objetivo fue reunir información científica para dar a conocer cómo el consumo diario

de chía actúa a nivel citológico en el ser humano, estableció que, mediante la aplicación del método de extracción Soxhlet con éter de petróleo como solvente, se obtiene entre 32 - 39 % de grasa, lo que corrobora la información obtenida en el presente estudio.

Tabla 19. Promedios, desviación estándar y prueba de Tukey (5 %) de la grasa (%) de la semilla de chía de dos localidades y una semilla Testigo, 2016.

Tratamiento	Localidad	Media/Desvest/Rango
1	Colta	36.33±0.866 a
2	Cotacachi	35.81±0.679 a
3	Testigo	36.13±0.240 a

Promedios seguidos de la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo a la prueba de Tukey (5 %)

Fuente. Elaboración propia.

La igualdad estadística respecto del contenido de grasa entre tratamientos, puede argumentarse con base en la consideración de que la composición bioquímica de una semilla está relacionada directamente con la especie de la planta (genotipo). Esta aseveración se fundamenta en los resultados obtenidos de un estudio de Hidalgo, Brandolini y Ratti (2009) relacionado con la evaluación del efecto del genotipo, época de siembra y localidad sobre la concentración de proteína, lípidos y ácidos grasos de semillas de una especie de cereal, donde se concluye que el genotipo es el factor de mayor influencia sobre la presencia de grasa en una semilla. Considerando que las muestras de las semillas estudiadas, obedecen a una sola variedad, no se espera que haya diferencias significativas en el contenido de la fracción grasa según se reporta en el estudio citado.

La metodología de extracción, entra en juego como un factor importante que incide directamente en el rendimiento de aceite de la semilla. Según Quintana y Valencia (2014) en uno de sus estudios de caracterización de la grasa de la semilla de chía obtenida con solventes orgánicos y además prensado en frío, con el objetivo de contrastar las semillas blanca y negra de la planta de chía, la calidad, tanto como el rendimiento del aceite, radica en

la selección del método de extracción. Por tanto, la aplicación de diferentes métodos de extracción, con mucha certeza, puede reflejar diferencias significativas en el rendimiento del aceite de la semilla.

Para una clara apreciación de la estrecha diferencia del contenido de la fracción grasa de los tres tratamientos, que no representa diferencias estadísticas, obsérvese la gráfica de la Figura 36.

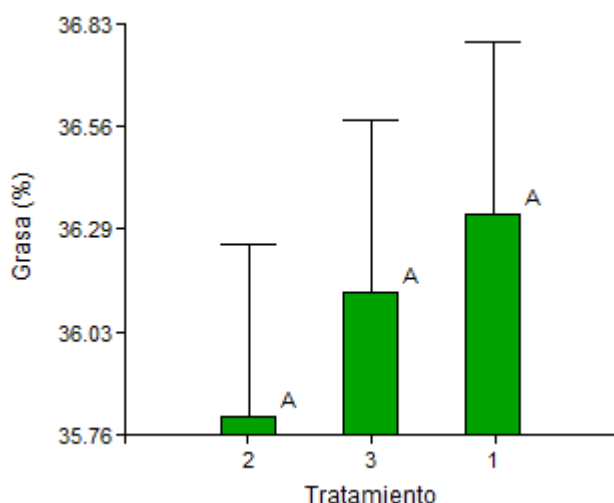


Figura 36. Grasa de la semilla por tratamiento. Fuente. Elaboración propia.

Los resultados citados previamente, concuerdan con los obtenidos en estudios realizados por (Ixtaina, 2010) acerca de la determinación del perfil nutricional de la semilla de chía cuyos resultados reportan un 33,6 % de la fracción lipídica, dato muy cercano, aunque inferior al encontrado en la presente investigación. La superioridad del volumen obtenido de las muestras de los tres orígenes, podría deberse al tiempo de aplicación de la operación de extracción en Soxhlet. Este factor es tomado en cuenta durante el proceso de obtención de grasas ya que, según indica el estudio de (Quintana & Valencia, 2015) acerca de la extracción de componentes de la semilla de chía, el tiempo de extracción tiene una relación directamente proporcional al volumen obtenido; al respecto, es necesario anotar que el tiempo no debiera ser superior a 8 h ya que pasado este tiempo, se extraen

componentes no lipídicos; en contraste, si el tiempo del proceso es menor, la extracción podría ser incompleta, como indica la investigación de los citados autores cuyos datos reportaron un rendimiento de grasa del 14 % en un tiempo aproximado de 4 h.

4.2.2 Caracterización de la fracción lipídica de la semilla de chía

La evaluación de la fracción grasa de la semilla correspondió a la aplicación de varios análisis de laboratorio para la identificación y cuantificación de los ácidos grasos que conforman la grasa (aceite) presente en la semilla de chía. La siguiente información obedece al estudio de los ácidos grasos cuyos datos fueron arreglados para su clasificación por grupos en función de la saturación de las moléculas bioquímicas que conforman las estructuras de dichos componentes lipídicos.

4.2.2.1 Evaluación de los ácidos grasos saturados (%)

El primer grupo de datos analizados corresponde a los ácidos mirístico, pentadecanoico y heptadecanoico. Los resultados estadísticos partieron de los datos que figuran en la Tabla 20.

Tabla 20. Datos para el análisis de los ácidos grasos saturados (%). Grupo 1.

Repeticiones	Tratamientos	Ácido mirístico	Ácido pentadecanoico	Ácido heptadecanoico
1	1	0.05	0.02	0.06
2	1	0.05	0.03	0.06
3	1	0.06	0.02	0.05
4	1	0.05	0.02	0.06
5	1	0.05	0.02	0.05
6	1	0.04	0.02	0.05
1	2	0.04	0.02	0.05
2	2	0.04	0.02	0.05

3	2	0.04	0.02	0.05
4	2	0.05	0.02	0.05
5	2	0.04	0.02	0.05
6	2	0.04	0.02	0.05
1	3	0.06	0.03	0.06
2	3	0.06	0.03	0.06
3	3	0.06	0.03	0.06
4	3	0.06	0.03	0.06
5	3	0.06	0.03	0.06
6	3	0.06	0.03	0.06

Fuente. Elaboración propia.

El análisis de varianza para la determinación y cuantificación de los ácidos grasos de la fracción grasa de la semilla, clasificados en el primer grupo, reportó diferencias altamente significativas entre tratamientos; los datos obtenidos del análisis pueden observarse en la Tabla 21.

Tabla 21. Análisis de varianza de los ácidos grasos saturados (Grupo 1), presentes en la semilla de chía provenientes de dos localidades y una semilla Testigo, 2016.

FdeV	GL	Ácido mirístico		Ácido pentadecanoico		Ácido heptadecanoico	
		CM	p-valor	CM	p-valor	CM	p-valor
Total	17	-	-	-	-	-	-
Tratamientos	2	0.00051	0.0001**	0.00017	0.0001**	0.00015	0.0010**
Repeticiones	5	0.000019	-	0.0000056	-	0.00001	-
Error	10	0.000019	-	0.0000056	-	0.00001	-
CV(%)		8.6		9.87		5.75	

**diferencias estadísticas al 1%.

Fuente. Elaboración propia.

La identificación de posibles diferencias entre medias de tratamientos y comprobación de las hipótesis planteadas para la cuantificación de ácidos grasos se realizó mediante la prueba de Tukey, la misma mostró la existencia

de diferencias altamente significativas entre tratamientos, por tanto, no se rechaza la hipótesis alternativa (H_a). Las medias obtenidas para el ácido mirístico fueron 0.05 %, 0.04 % y 0.06 %; para el ácido pentadecanoico 0.02 %, 0.02 % y 0.03 %; y, en el caso del ácido heptadecanoico 0.06 %, 0.05 % y 0.06 %; para los orígenes de Colta, Cotacachi y Testigo, con coeficientes de variación de 8.6, 9.87 y 5.75 respectivamente. Esta evidencia puede observarse claramente en los datos reportados en la Tabla 22.

Tabla 22. Promedios, desviación estándar y prueba de Tukey (5 %) de los ácidos grasos saturados (%) del Grupo 1 de la semilla de chía, 2016.

Tratamiento	Localidad	Ácido mirístico	Ácido pentadecanoico	Ácido heptadecanoico
		Media/Desvest/Rango		
1	Colta	0,05±0,006 b	0,02±0,004 b	0,06±0,005 ab
2	Cotacachi	0,04±0,004 c	0,02±0,000 b	0,05±0,000 b
3	Testigo	0,06±0,000 a	0,03±0,000 a	0,06±0,000 a

Promedios seguidos de la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo a la prueba de Tukey (5 %)

Fuente. Elaboración propia.

Las diferencias encontradas entre los tratamientos para los tres ácidos grasos citados previamente, podrían relacionarse con varios factores y su influencia en la formación estructural de la totalidad del extracto etéreo. Una investigación realizada por (Ayersa & Coates, 2004) en la que se evaluó a la semilla de chía proveniente de seis zonas ecogeográficas de América del Sur con el objetivo de contrastar las características de cada una de las semillas, concluyó que, tanto la concentración de la fracción grasa como la presencia de ácidos grasos constituyentes, obedece a las características edafoclimáticas de la zona de cultivo. En concordancia con lo mencionado, factores como la altitud de las localidades, la temperatura del ambiente y el tipo de suelo de las zonas en estudio, podrían incidir en la conformación lipídica de la semilla.

A continuación, se puede apreciar de forma gráfica en las Figuras 37, 38 y 39, las diferencias encontradas en cuanto a la concentración de los ácidos grasos mirístico, pentadecanoico y heptadecanoico entre los tratamientos en estudio.

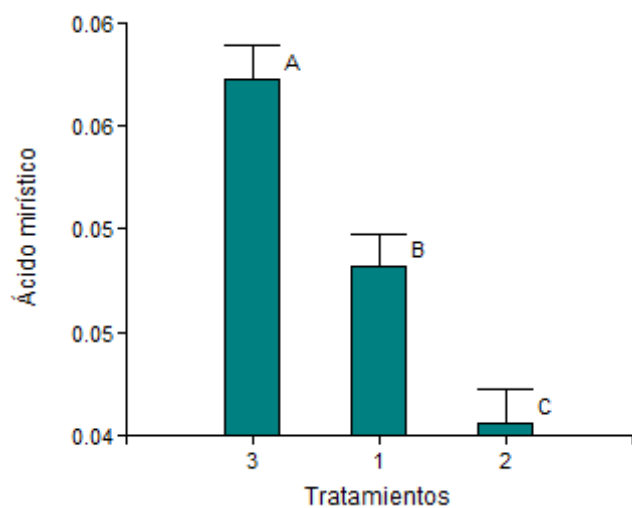


Figura 37. Presencia de ácido mirístico por tratamiento. Fuente. Elaboración propia.

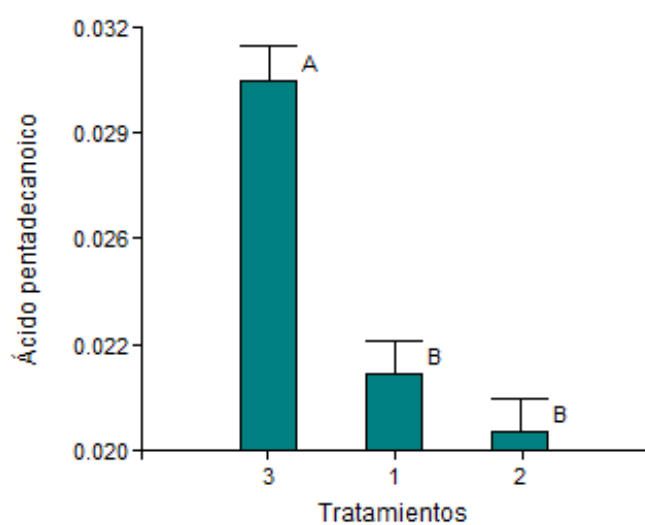


Figura 38. Presencia de ácido pentadecanoico por tratamiento. Fuente. Elaboración propia.

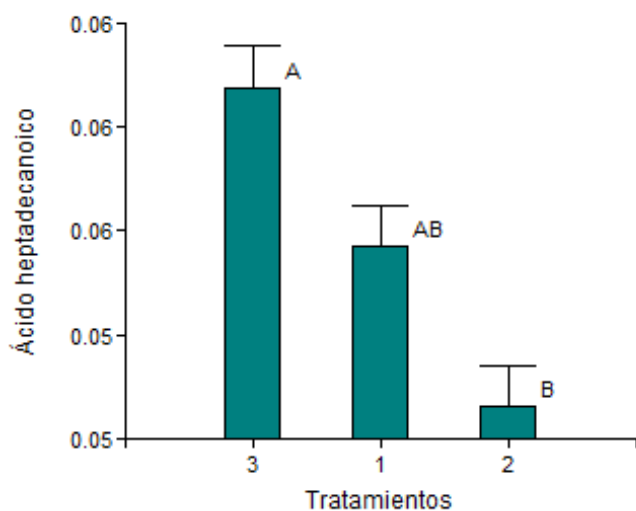


Figura 39. Presencia de ácido heptadecanoico por tratamiento. Fuente. Elaboración propia.

Un segundo grupo de ácidos grasos saturados evaluados en el aceite de la semilla de chía de los tres orígenes fueron los siguientes ácidos: esteárico, palmítico, araquídico y tricosanoico; el arreglo de los datos originales para el análisis estadístico se aprecia en la Tabla 23.

Tabla 23. Datos para el análisis de los ácidos grasos saturados (%). Grupo 2.

Repet.	Tratam.	Ácido esteárico	Ácido palmítico	Ácido araquídico	Ácido tricosanoico
1	1	4.27	8.02	0.29	0.03
2	1	4.22	8.04	0.29	0.03
3	1	3.76	7.77	0.26	0.03
4	1	3.97	7.87	0.27	0.03
5	1	3.05	7.23	0.23	0.03
6	1	3	6.97	0.24	0.03
1	2	3.09	6.98	0.24	0.03
2	2	3.09	7.1	0.24	0.03
3	2	3.15	6.97	0.24	0.03

4	2	3.21	7.33	0.24	0.03
5	2	3.09	6.97	0.23	0.03
6	2	3.1	6.95	0.23	0.03
1	3	3.82	8.26	0.3	0.03
2	3	3.65	8.2	0.3	0.03
3	3	3.73	8.13	0.3	0.03
4	3	3.84	8.2	0.31	0.03
5	3	3.65	8.34	0.28	0.03
6	3	3.8	8.07	0.31	0.04

Fuente. Elaboración propia.

Realizado el análisis de varianza al segundo grupo de ácidos grasos como se observa en los datos de la Tabla 24, se obtuvo diferencias estadísticas en el caso del ácido esteárico cuyos promedios fueron de 3.71 %, 3.12 % y 3.75 % para las semillas de las localidades de Colta, Cotacachi y la semilla Testigo, respectivamente, y un coeficiente de variación de 9.12 lo que sugiere no rechazar la hipótesis alternativa (Ha); para el ácido palmítico y araquídico, se mostraron diferencias altamente significativas con promedios de 7.65 %, 7.05 % y 8.2 % y, 0.26 %, 0.24 % y 0.30 % respecto de los tres orígenes, los coeficientes de variación fueron de 3.30 y 5.03 respectivamente, esta información sugiere no rechazar la hipótesis alternativa (Ha); mientras que, los resultados para el ácido tricosanoico, no mostraron diferencias significativas; los promedios obtenidos para las dos localidades y la semilla Testigo fue de 0.03 % y un coeficiente de variación de 7.71, esta información sugiere no rechazar la hipótesis nula (Ho). Los datos numéricos que representan las medias, junto con la desviación estándar y los rangos de los ácidos grasos citados, puede observarse en la Tabla 25.

Tabla 24. Análisis de varianza de los ácidos grasos saturados (Grupo 2), presentes en la semilla de chía provenientes de dos localidades y una semilla Testigo, 2016.

FdeV	GL	Ácido esteárico		Ácido palmítico		Ácido araquídico		Ácido tricosanoico	
		CM	p-valor	CM	p-valor	CM	p-valor	CM	p-valor
Total	17	-	-	-	-	-	-	-	-
Tratam.	2	0.74	0.0117*	1.99	<0.0001**	0,01	<0.0001**	0,0000056	0.4019n.s.
Repet.	5	0.12	-	0.1	-	0.00041	-	0.0000056	-
Error	10	0.1	-	0.06	-	0.00018	-	0.0000056	-
CV(%)		9.12		3.3		5.03		7.71	

* diferencias estadísticas al 5%.

**diferencias estadísticas al 1%.

n.s. no significativo.

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 25. Promedios, desviación estándar y prueba de Tukey (5 %) de los ácidos grasos saturados (%) del Grupo 2 de la semilla de chía de dos localidades y una semilla Testigo, 2016.

Tratamiento	Localidad	Ácido esteárico	Ácido palmítico	Ácido araquídico	Ácido tricosanoico
		Media/Desvest/Rango			
1	Colta	3,71±0,563 a	7,65±0,445 b	0,26±0,025 b	0,03±0,000 a
2	Cotacachi	3,12±0,049 b	7,05±0,147 c	0,24±0,005 c	0,03±0,000 a
3	Testigo	3,75±0,85 a	8,2±0,095 a	0,3±0,011 a	0,03±0,004 a

Promedios seguidos de la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo a la prueba de Tukey (5 %)

Fuente. Elaboración propia.

Entre los ácidos grasos analizados en este grupo, destacan los ácidos esteárico y palmítico, superando en mucho la proporción de los ácidos araquídico y tricosanoico. El valor encontrado en la semilla de la localidad de Colta, es algo superior en relación a la semilla de Cotacachi y ligeramente inferior al encontrado en la semilla Testigo, misma que reportó los valores más altos (8.2) para la concentración de ácido palmítico. Seguido de este ácido, se encontró el ácido esteárico con porcentajes muy similares en la semilla de Colta (3.71 %) y Testigo (3.75 %), y por debajo de estas, se encontró la semilla de la localidad de Cotacachi (3.12 %). El estudio de Quintana y Valencia (2014) acerca de la caracterización de la fracción

lipídica de semillas blancas y negras de chía, cuyo objetivo fue identificar diferencias en el contenido de ácidos grasos de ambas semillas, muestra que, entre los ácidos saturados más importantes por la concentración presente, destaca la presencia del ácido palmítico con un porcentaje que asciende a 7.59, valor equivalente a los encontrados en el presente estudio.

La evidencia gráfica de los resultados obtenidos de los ácidos grasos previamente estudiados, puede observarse en las Figuras 40, 41, 42 y 43.

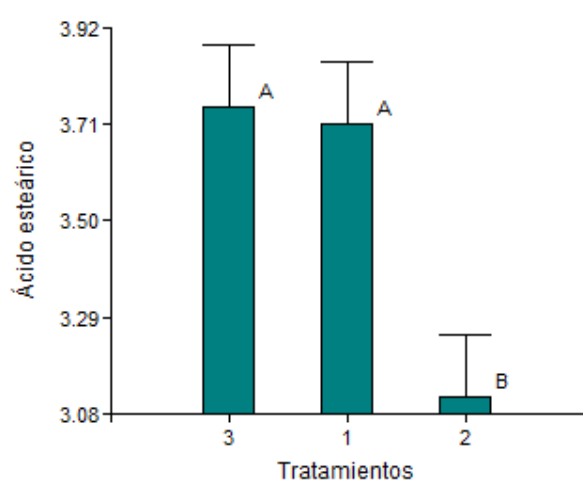


Figura 40. Presencia de ácido esteárico por tratamiento. Fuente. Elaboración propia.

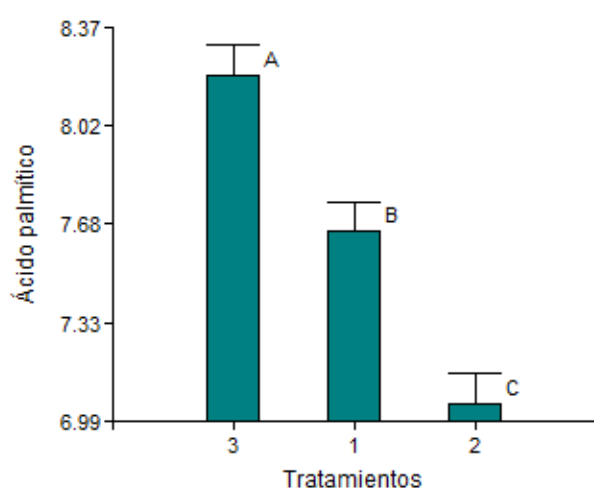


Figura 41. Presencia de ácido palmítico por tratamiento. Fuente. Elaboración propia.

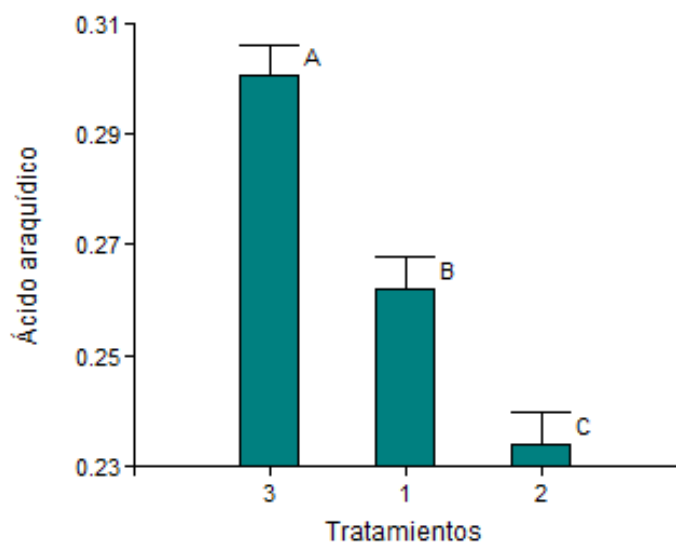


Figura 42. Presencia de ácido araquídico por tratamiento. Fuente. Elaboración propia.

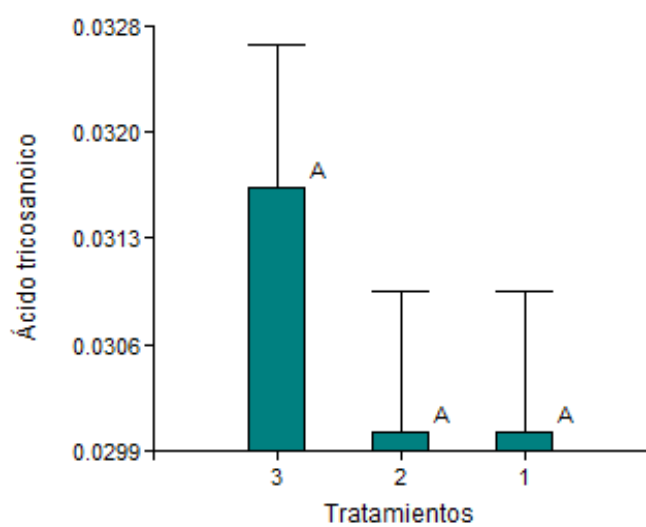


Figura 43. Presencia de ácido tricosanoico por tratamiento. Fuente. Elaboración propia.

Para concluir la evaluación de los ácidos grasos saturados, se presentan los ácidos cis-11-eicosenoico y behénico en un tercer grupo de análisis. La información de la Tabla 26, obedece a los datos originales a partir de los cuales se realizó el análisis estadístico.

Tabla 26. Datos para el análisis de los ácidos grasos behénico y cis-11-eicosenoico (%).

Repeticiones	Tratamientos	Ácido cis-11-eicosenoico	Ácido behénico
1	1	0,1	0,09
2	1	0,1	0,09
3	1	0,1	0,08
4	1	0,09	0,08
5	1	0,13	0,09
6	1	0,09	0,08
1	2	0,15	0,08
2	2	0,1	0,08
3	2	0,09	0,1
4	2	0,08	0,09
5	2	0,09	0,08
6	2	0,09	0,09
1	3	0,14	0,09
2	3	0,14	0,09
3	3	0,13	0,09
4	3	0,12	0,11
5	3	0,14	0,09
6	3	0,14	0,11

Fuente. Elaboración propia.

Para la cuantificación de los ácidos grasos saturados previamente citados y encontrados al igual que los anteriores, en la fracción grasa de la semilla de chía, el análisis de la varianza mostró la existencia de diferencias altamente significativas entre tratamientos para el ácido cis-11-eicosenoico, lo que sugiere no rechazar la hipótesis alternativa (H_a) y, para el ácido behénico, no se encontraron diferencias estadísticas, datos que sugieren no rechazar la hipótesis nula (H_0); los datos obtenidos del análisis pueden observarse en la Tabla 27.

Tabla 27. Análisis de varianza de los ácidos grasos cis-11-eicosenoico y behénico, presentes en la semilla de chía proveniente de dos localidades y una semilla Testigo, 2016.

FdeV	GL	Ácido cis-11-eicosenoico		Ácido behénico	
		CM	p-valor	CM	p-valor
Total	17	-	-	-	-
Tratamientos	2	0,0023	0,0057**	0,00024	0,1088n.s.
Repeticiones	5	0,00041	-	0,000032	-
Error	10	0,00026	-	0,000086	-
CV(%)		14,34		10,34	

**diferencias estadísticas al 1%.

n.s. no significativo

Fuente. Elaboración propia

La identificación de las diferencias entre medias de tratamientos para la comprobación de las hipótesis planteadas en el estudio, se realizó a través de la prueba de Tukey. Los promedios alcanzados fueron 0.10 %, 0.10 % y 0.14 % para el ácido cis-11-eicosenoico, datos porcentuales que reflejan diferencias estadísticas y corresponden a la semilla de los orígenes Colta, Cotacachi y Testigo, respectivamente; el coeficiente de variación fue de 14.34. Los datos citados se observan claramente en el análisis funcional de la Tabla 28.

Tabla 28. Promedios, desviación estándar y prueba de Tukey (5 %) de los ácidos grasos cis-11-eicosenoico y behénico (%) de la semilla de chía de dos localidades y una semilla Testigo, 2016.

Tratamiento	Localidad	Ácido cis-11-eicosenoico	Ácido behénico
		Media/Desvest/Rango	
1	Colta	0,10±0,015 b	0,09±0,005 a
2	Cotacachi	0,10±0,025 b	0,09±0,008 a
3	Testigo	0,14±0,008 a	0,10±0,010 a

Promedios seguidos de la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo a la prueba de Tukey (5 %)

Fuente. Elaboración propia.

La concentración porcentual casi nula de los ácidos cis-11-eicosenoico y behénico en relación a la presencia del resto de ácidos grasos saturados analizados anteriormente en la presente investigación, es corroborada con los resultados reportados en el estudio comparativo de (Vicente, y otros, 2013) donde se evaluaron semillas de chía cultivadas en Cuba y Ecuador, realizado con el objetivo de determinar la calidad organoléptica y el contenido de ácidos grasos del aceite de las semillas; las conclusiones del citado estudio, inclusive señalan que no se detectó al ácido behénico, mismo que tampoco se encuentra reportado en estudios similares revisados.

Como indican los datos expuestos en las tablas previas, las diferencias estadísticas encontradas, obedecen al tipo de ácido graso presente en la fracción lipídica de la semilla de chía. Para identificar de forma gráfica los resultados que determinaron o no diferencias entre los tratamientos en estudio, véase las Figuras 44 y 45.

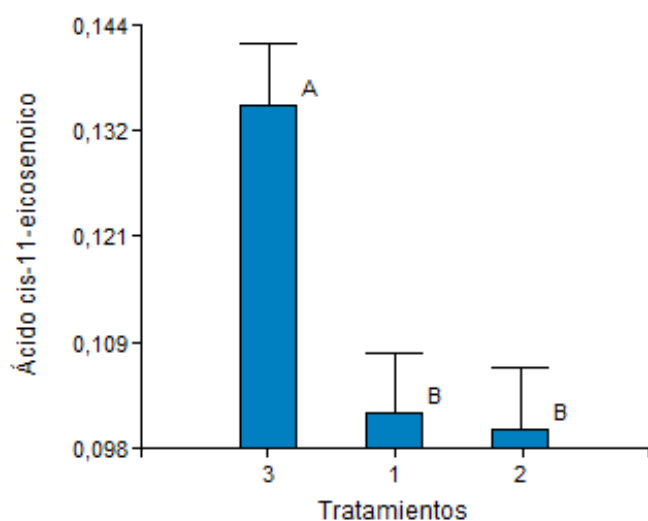


Figura 44. Presencia de ácido cis-11-eicosenoico por tratamiento. Fuente. Elaboración propia.

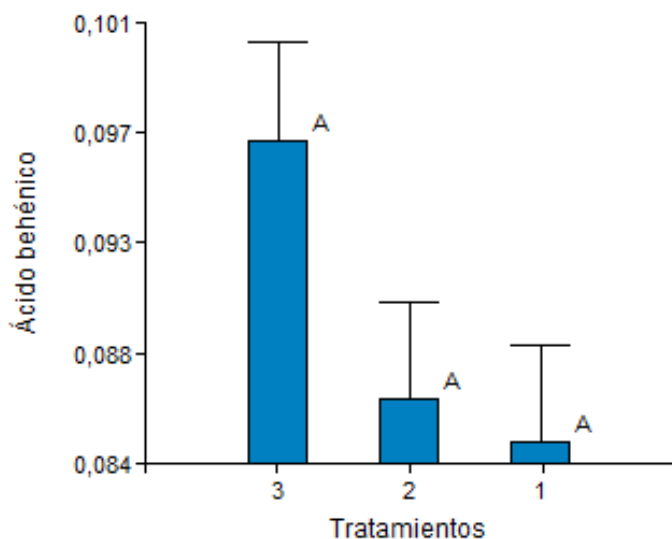


Figura 45. Presencia de ácido behénico por tratamiento. Fuente. Elaboración propia.

4.2.2.2 Evaluación de los ácidos grasos insaturados (%)

El siguiente grupo de ácidos grasos encontrados en el aceite de la semilla de chía, corresponde a la clasificación de los ácidos grasos insaturados (AGI), estos fueron analizados en una subdivisión bajo el criterio del número de enlaces dobles en la cadena principal de átomos de carbono. Los grupos evaluados fueron: los ácidos grasos monoinsaturados y los ácidos grasos poliinsaturados.

4.2.2.2.1 Análisis de los ácidos grasos monoinsaturados

La evaluación del contenido de ácidos grasos del aceite de la semilla de chía, permitió la determinación de los ácidos monoinsaturados como el ácido palmitoleico, el ácido oléico y el ácido eicosenoico. El arreglo de datos para el análisis estadístico, puede apreciarse en la Tabla 29.

Tabla 29. Datos para el análisis de los ácidos grasos monoinsaturados (%).

Repeticiones	Tratamientos	Ácido palmitoleico	Ácido elaídico	Ácido oleico
1	1	0.23	0.68	6.24
2	1	0.23	0.68	6.17
3	1	0.23	0.69	5.79
4	1	0.24	0.72	6.05
5	1	0.23	0.71	5.43
6	1	0.22	0.69	5.36
1	2	0.21	0.67	5.69
2	2	0.22	0.68	5.71
3	2	0.22	0.71	5.47
4	2	0.23	0.72	5.6
5	2	0.22	0.67	5.7
6	2	0.21	0.67	5.7
1	3	0.27	0.73	5.89
2	3	0.28	0.74	5.86
3	3	0.27	0.72	5.75
4	3	0.27	0.75	5.89
5	3	0.28	0.74	5.72
6	3	0.27	0.77	8.9

Fuente. Elaboración propia.

Aplicado el análisis de la varianza para la determinación y cuantificación de los ácidos grasos monoinsaturados como el ácido palmitoleico, elaídico y oleico encontrados en el aceite de las semillas mediante cromatografía de gases, se mostró la existencia de diferencias altamente significativas entre tratamientos para los ácidos palmitoleico y elaídico, esto indica que existe efecto de los orígenes de la semilla sobre la concentración de estos ácidos, lo que sugiere no rechazar la hipótesis alternativa (H_a). Las diferencias estadísticas para el ácido oleico fueron no significativas, por tanto, no se rechaza la hipótesis nula (H_0); los coeficientes de variación fueron 2.1, 2.47 y 13.67 para los ácidos palmitoleico, elaídico y oleico, respectivamente. Los datos que explican lo expuesto, se observan en la Tabla 30.

Tabla 30. Análisis de varianza de los ácidos grasos monoinsaturados presentes en la semilla de chía provenientes de dos localidades y una semilla Testigo, 2016.

FdeV	GL	Ácido palmitoleico		Ácido eláidico		Ácido oleico	
		CM	p-valor	CM	p-valor	CM	p-valor
Total	17	-	-	-	-	-	-
Tratam.	2	0.01	<0.0001**	0,01	0.0006**	0,76	0.3548n.s.
Repet.	5	0.000072	-	0.00046	-	0.42	-
Error	10	0.000026	-	0.00031	-	0.66	-
CV(%)		2.1		2.47		13.67	

**diferencias estadísticas al 1%.

n.s no significativo

Fuente. Elaboración propia.

La identificación de las diferencias establecidas entre medias de tratamientos, respecto de la cuantificación de los ácidos grasos monoinsaturados, se analizó mediante la aplicación de la prueba de Tukey; los promedios de los ácidos grasos palmitoleico, eláidico y oleico encontrados en la semilla Testigo supera a los encontrados en la semilla de las localidades de Colta y Cotacachi. El reporte de los datos numéricos puede observarse claramente en la Tabla 31.

Tabla 31. Promedios, desviación estándar y prueba de Tukey (5 %) de los ácidos grasos monoinsaturados (%) de la semilla de chía de dos localidades y una semilla Testigo, 2016.

Tratamiento	Localidad	Ácido palmitoleico	Ácido eláidico	Ácido oleico
		Media/Desvest/Rango		
1	Colta	0,23±0,006 b	0,7±0,016 b	5,84±0,378 a
2	Cotacachi	0,22±0,008 c	0,69±0,023 b	5,65±0,095 a
3	Testigo	0,27±0,005 a	0,74±0,017 a	6,34±1,259 a

Promedios seguidos de la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo a la prueba de Tukey (5 %)

Fuente. Elaboración propia.

La presencia de los ácidos palmitoleico y eláidico es nula en comparación con el ácido oleico, mismo que se encontró en una proporción de 5.84 %, 5.65 % y 6.34 % para la semilla de Colta, Cotacachi y la semilla Testigo,

respectivamente. Según los resultados reportados en el estudio de (Quintana & Valencia, 2015) acerca de las características bioquímicas del aceite de chía obtenido a través de dos metodologías, física y química, el ácido oleico es uno de los ácidos grasos monoinsaturados más abundantes en la fracción grasa, la proporción del ácido oleico encontrada en el citado estudio fue de 6.07 %, valor ligeramente superior al encontrado en la semilla de las dos localidades en estudio e inferior al porcentaje de la semilla Testigo; aunque estadísticamente no se reportan diferencias, la superioridad de la semilla Testigo en cuanto al contenido de ácido oleico, podría deberse a las variadas características de las diferentes zonas de cultivo, cuya incidencia está reportada en diferentes investigaciones relacionadas con la evaluación de características botánicas, fisiológicas y bioquímicas de los cultivos.

Para corroborar los datos citados previamente, respecto de la incidencia de los factores edafoclimáticos sobre la composición bioquímica de una semilla, mediante técnicas de análisis multivariante se han podido diferenciar los aceites de dos subzonas agroclimáticamente diferentes dentro de la DOP Les Garrigues; los aceites de la zona Oeste se caracterizan, con respecto a los obtenidos en la zona Este, por tener menor contenido de ácido oleico (Motilva, Ramo, & Romero, 2001).

Para el análisis estadístico de los ácidos insaturados erúcico y nervónico del sub grupo de ácidos grasos denominados monoinsaturados, se identificó la necesidad de realizar una transformación de datos dada la concentración ínfima de estos ácidos en la fracción lipídica de las semillas de los tres orígenes en estudio; la citada transformación se realizó aplicando la raíz cuadrada ($\sqrt{\quad}$) a cada uno de los datos originales. Estos datos pueden apreciarse en la Tabla 32.

Tabla 32. Datos transformados para el análisis de los ácidos grasos erúcico y nervónico (%).

Repeticiones	Tratamientos	Ácido erúcico (T)	Ácido nervónico (T)
1	1	0,14	0,10
2	1	0,14	0,10
3	1	0,14	0,14
4	1	0,14	0,14
5	1	0,14	0,14
6	1	0,14	0,14
1	2	0,17	0,20
2	2	0,14	0,17
3	2	0,14	0,14
4	2	0,14	0,10
5	2	0,14	0,10
6	2	0,14	0,14
1	3	0,14	0,14
2	3	0,17	0,14
3	3	0,17	0,14
4	3	0,17	0,14
5	3	0,14	0,14
6	3	0,17	0,14

Fuente. Elaboración propia.

La citada transformación de los datos iniciales permitió la realización del análisis de varianza y la consecuente reducción del coeficiente de variación. Los resultados obtenidos del análisis pueden apreciarse en la Tabla 33.

Tabla 33. Análisis de varianza de los ácidos grasos erúcico y nervónico presentes en la semilla de chía provenientes de dos localidades y una semilla Testigo, 2016.

FdeV	GL	Ácido erúcico (T)		Ácido nervónico (T)	
		CM	p-valor	CM	p-valor
Total	17	-	-	-	-
Tratamientos	2	0,00065	0,0584n.s.	0,00041	0,6452n.s.
Repeticiones	5	0,00005	-	0,00019	-
Error	10	0,00017	-	0,00089	-
CV(%)		8,79		10,34	

n.s. no significativo

Fuente. Elaboración propia.

El análisis de la varianza aplicado a los ácidos monoinsaturados a partir de los datos transformados, no mostró diferencias estadísticas entre tratamientos, información que sugiere no rechazar la hipótesis nula (H_0).

La identificación de posibles diferencias establecidas entre medias de tratamientos, respecto de la cuantificación de los ácidos grasos evaluados, se analizó con los datos originales (Tabla 34) mediante la aplicación de la prueba de Tukey.

Tabla 34. Datos originales para el análisis de los ácidos grasos erúcico y nervónico (%).

Repeticiones	Tratamientos	Ácido erúcico	Ácido nervónico
1	1	0,02	0,01
2	1	0,02	0,01
3	1	0,02	0,02
4	1	0,02	0,02
5	1	0,02	0,02
6	1	0,02	0,02
1	2	0,03	0,04
2	2	0,02	0,03
3	2	0,02	0,02

4	2	0,02	0,01
5	2	0,02	0,01
6	2	0,02	0,02
1	3	0,02	0,02
2	3	0,03	0,02
3	3	0,03	0,02
4	3	0,03	0,02
5	3	0,02	0,02
6	3	0,03	0,02

Fuente. Elaboración propia.

Los promedios del ácido erúxico encontrados en la semilla Testigo supera en poco a los promedios correspondientes a las semillas de las dos localidades en estudio; aunque hay diferencias aritméticas, estas no representan diferencias estadísticas. Las medias para el ácido nervónico no mostraron diferencias en absoluto. El reporte de los datos numéricos se aprecia claramente en la Tabla 35.

Tabla 35. Promedios, desviación estándar y prueba de Tukey (5 %) de los ácidos erúxico y nervónico (%) de la semilla de chía de dos localidades y una semilla Testigo, 2016.

Tratamiento	Localidad	Ácido erúxico	Ácido nervónico
		Media/Desvest/Rango	
1	Colta	0,02±0 a	0,02±0,01a
2	Cotacachi	0,02±0,00 a	0,02±0,01 a
3	Testigo	0,03±0,01 a	0,02±0 a

Promedios seguidos de la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo a la prueba de Tukey (5 %)

Fuente. Elaboración propia.

En varias investigaciones relacionadas con la caracterización de la chía, se ha identificado el perfil de ácidos grasos presentes en el aceite de la semilla donde se reporta la presencia de un grupo que varía entre 6 y 15 ácidos grasos (Taga, Miller, & Pratt, 1983), (Peiretti & Gai, 2009). No obstante, los

ácidos que destacan son los de estructura hidrocarbonada de cadena larga C-16 y C-18, todos los demás, prácticamente son considerados trazas (Gutiérrez, y otros, 2014).

El contenido de los ácidos erúxico y nervónico encontrados en la semilla de chía pueden apreciarse en las Figuras 46 y 47.

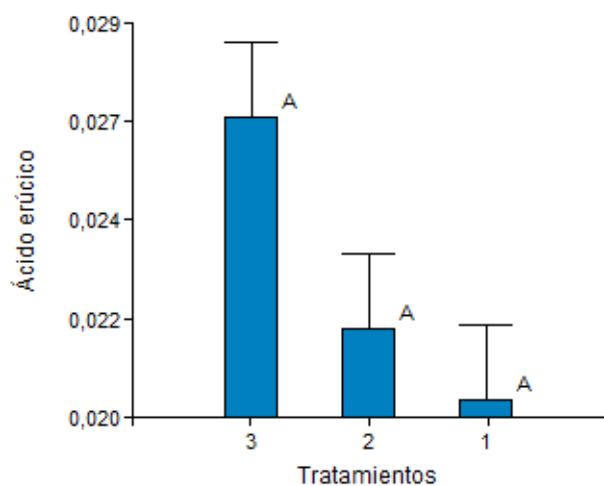


Figura 46. Presencia de ácido erúxico por tratamiento. Fuente. Elaboración propia.

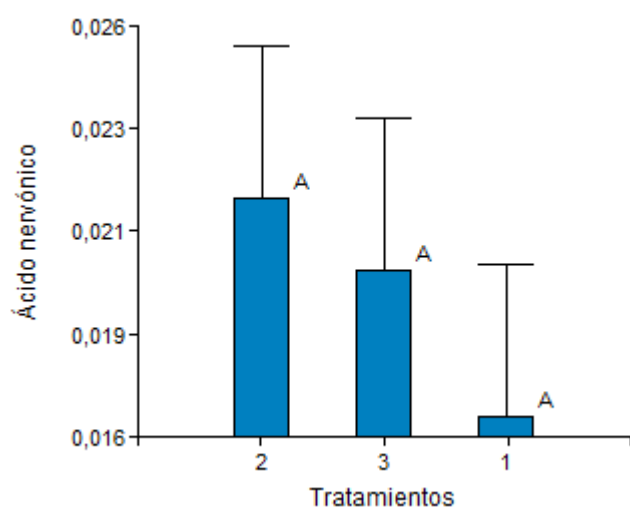


Figura 47. Presencia de ácido nervónico por tratamiento. Fuente. Elaboración propia.

4.2.2.2.2 Ácidos grasos poliinsaturados

En el caso del grupo de ácidos grasos poliinsaturados, fueron determinados y cuantificados los siguientes: ácido linolelaídico, linoleico, alfa-linoleico y linolénico en un primer grupo. El arreglo de datos para los respectivos análisis estadísticos, figuran en la Tabla 36.

Tabla 36. Datos para el análisis de ácidos grasos poliinsaturados (%). Grupo 1.

Repet.	Tratam.	Ácido linolelaídico	Ácido linoleico	Ácido α -linoleico	Ácido linolénico
1	1	0.04	17.79	0.24	61.64
2	1	0.06	17.98	0.24	61.54
3	1	0.04	17.4	0.27	63.24
4	1	0.03	17.94	0.25	62.12
5	1	0.04	16.76	0.25	65.51
6	1	0.05	16.48	0.24	66.24
1	2	0.07	15.77	0.24	66.45
2	2	0.05	15.86	0.24	66.28
3	2	0.04	16.53	0.26	65.85
4	2	0.04	15.91	0.24	64.94
5	2	0.05	15.94	0.23	66.41
6	2	0.05	15.96	0.24	66.38
1	3	0.04	17.28	0.29	62.48
2	3	0.04	17.34	0.3	62.65
3	3	0.04	16.95	0.28	63.2
4	3	0.04	17.26	0.28	62.5
5	3	0.04	16.99	0.28	63.05
6	3	0.04	17.38	0.29	62.5

Fuente. Elaboración propia.

En el análisis de la varianza para los ácidos linolelaídico, linoleico, alfa-linoleico y linolénico (ω -3) de la fracción grasa de la semilla, fueron reportadas diferencias altamente significativas entre tratamientos para todos los ácidos con excepción del ácido linolelaídico; los datos obtenidos (Tabla

37), indican el efecto de los orígenes de la semilla sobre la concentración de los ácidos grasos citados lo que sugiere no rechazar la hipótesis alternativa (Ha). Los coeficientes de variación fueron 2.55, 3.84 y 1.8 para los ácidos linoleico, alfa-linoleico y linolénico, respectivamente.

Tabla 37. Análisis de varianza de los ácidos grasos polinsaturados (Grupo 1) presentes en la semilla de chía provenientes de dos localidades y una semilla Testigo, 2016.

FV	GL	Ácido linolelaídico		Ácido linoleico		Ácido γ -linoleico		Ácido linolénico	
		CM	p-valor	CM	p-valor	CM	p-valor	CM	p-valor
Total	17	-	-	-	-	-	-	-	-
Tratam.	2	0,00016	0.1551n.s.	3,44	0.0004**	0,0035	0.0001**	18,59	0.0013**
Repet.	5	0,000089	-	0,14	-	0,0001	-	1,92	-
Error	10	0,000069	-	0,18	-	0,000099	-	1,34	-
CV(%)		18,67		2,55		3,84		1,8	

**diferencias estadísticas al 1%.

n.s. no significativo

Fuente. Elaboración propia.

La identificación de las diferencias entre medias de tratamientos para la concentración de los ácidos poliinsaturados de este grupo, se estableció mediante la prueba de Tukey. La evidencia de lo anteriormente citado, puede observarse en los datos de la Tabla 38.

Tabla 38. Promedios, desviación estándar y prueba de Tukey (5 %) de los ácidos grasos polinsaturados (%) del Grupo 1 de la semilla de chía de dos localidades y una semilla Testigo, 2016.

Tratam.	Localidad	Ácido linolelaídico	Ácido linoleico	Ácido γ -linoleico	Ácido linolénico
		Media/Desvest/Rango			
1	Colta	0,04±0,010 a	17,39±0,638 a	0,25±0,012 b	63,38±2,037 b
2	Cotacachi	0,05±0,011 a	16±0,271 b	0,24±0,010 b	66,05±0,587 a
3	Testigo	0,04±0,000 a	17,2±0,184 a	0,29±0,008 a	62,73±0,316 b

Promedios con la misma letra son estadísticamente iguales en la prueba de Tukey (5 %)

Fuente. Elaboración propia.

Las medias obtenidas en el análisis estadístico para los ácidos linoleico (omega-6) y linolénico (omega-3) son equivalentes a los datos reportados en un estudio realizado por (Quintana & Valencia, 2015) cuyo objetivo fue determinar las características bioquímicas del aceite de chía bajo dos métodos de extracción; el mencionado estudio reportó una concentración de 21,67 % para el ácido linoleico y 57,47 % para el ácido linolénico. En la presente investigación fueron encontrados valores de 17.39 %, 16 % y 17.2 % para el ácido linoleico presente en las semillas de Colta, Cotacachi y la semilla Testigo, respectivamente, valores por debajo de los reportados en el estudio citado y, para el ácido linolénico, 63.38 %, 66.05 % y 62.73, concentraciones superiores a las reportadas en el estudio. El contenido de ácidos grasos de la semilla de Cotacachi difiere en relación a la de Colta y la semilla Testigo; aquella posee un contenido inferior de ácido linoleico, pero significativamente superior respecto del ácido linolénico. Estos datos pueden explicarse en función de las diferencias edafoclimáticas de la zona de cultivo y su incidencia sobre la concentración de los diferentes ácidos grasos que conforman la fracción grasa de la semilla, como se argumenta en varias investigaciones afines al presente estudio.

Los resultados encontrados concuerdan con los reportados en un estudio previo de (Ayerza R. , 1995) donde, entre los principales ácidos grasos encontrados en semillas de chía de cinco localidades de Argentina, figuran los ácidos linoleico con concentraciones que varían entre 17-26 % y linolénico entre 50-57 %, estos datos fueron obtenidos mediante la técnica de cromatografía de gases. Las conclusiones del estudio muestran variación en el contenido de aceite y alta incidencia de la localización del cultivo en el contenido de los ácidos oleico, linoleico y linolénico.

Ayerza y Coates 2005, en su estudio de evaluación bioquímica de la semilla de chía realizado en varios pisos agroclimáticos de Sudamérica, también reportan la presencia del ácido linolénico en concentraciones de 63.1 % en Argentina, 63.6% en Bolivia, 57.9 % en Colombia, 61.6 % en México, 64.2% en Perú y 57.47 % en Ecuador.

Otro estudio de caracterización del aceite de la semilla de chía obtenido mediante dos metodologías, la utilización de solvente orgánico y la aplicación del prensado en frío, realizado por (Quintana & Valencia, 2015) con el objetivo de evaluar posibles diferencias entre los componentes de la chía de semilla negra y la de semilla blanca concluye que, en el aceite obtenido por prensado en frío, la chía negra posee 73.28 % de ácido linolénico y 15.48 % de ácido linoleico y para la chía blanca se reportó un contenido de 74 % de ácido linolénico y 15,79 % de ácido linoleico. Respecto de la aplicación de solventes para la extracción del aceite y posterior evaluación de los ácidos se encontró que la chía negra posee un contenido de 61.55 % de ácido linolénico y 14.42 % de ácido linoleico, mientras que, para la chía blanca, fueron reportados valores de 64.62 % de ácido linolénico y 14.80 % de ácido linoleico.

Finalmente, los ácidos grasos más abundantes, encontrados en el aceite de chía y corroborado con varios estudios afines, son los ácidos grasos linoleico y linolénico mismos que corresponden a la familia omega, muy conocidos y estudiados por sus amplios beneficios sobre la salud cardiovascular; ambos ácidos representan entre el 70-80 % de los ácidos que componen la fracción lipídica de la semilla. Estos datos se ven sustentados en el estudio de (Jiménez, Masson, & Quitral, 2013) en el que se caracterizó tres tipos de semilla y sus respectivos aceites entre las cuales se estudió a la chía. Estos aceites fueron caracterizados como de alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados con destacada presencia de los ácidos linoleico y linolénico con un promedio para ambos de 70 % aproximadamente. Sin embargo, entre las tres semillas evaluadas, la chía fue reportada como la de mayor contenido de ácido linolénico con 51.8 %.

Las Figuras 48, 49, 50 y 51 a continuación, muestran gráficamente los resultados obtenidos respecto del contenido de los ácidos grasos poliinsaturados evaluados en este grupo.

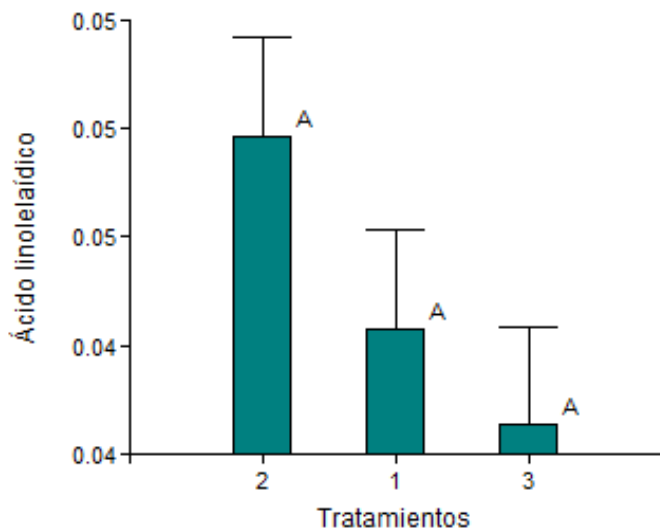


Figura 48. Presencia de ácido linoleaídico por tratamiento. Fuente. Elaboración propia.

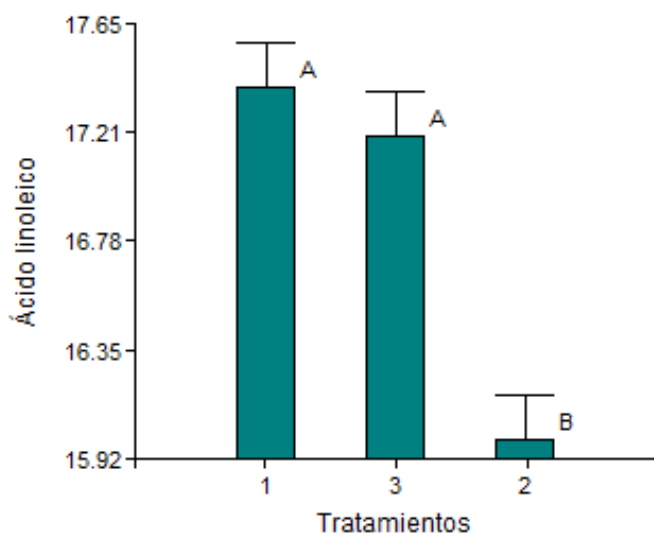


Figura 49. Presencia de ácido linoleico por tratamiento. Fuente. Elaboración propia.

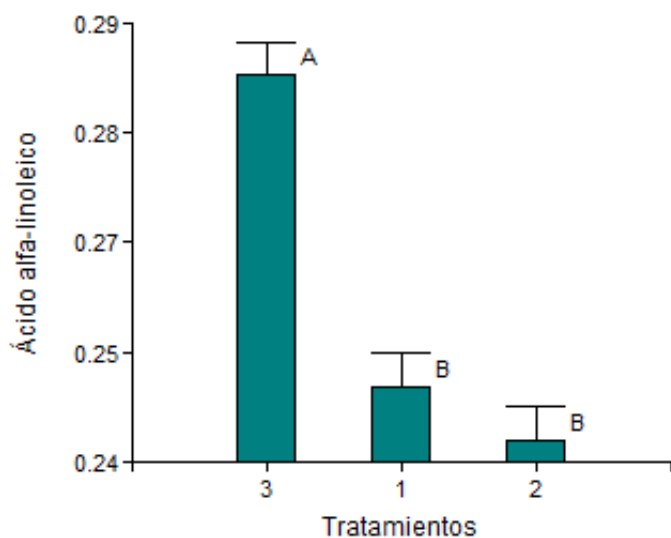


Figura 50. Presencia de ácido alfa-linoleico por tratamiento. Fuente. Elaboración propia.

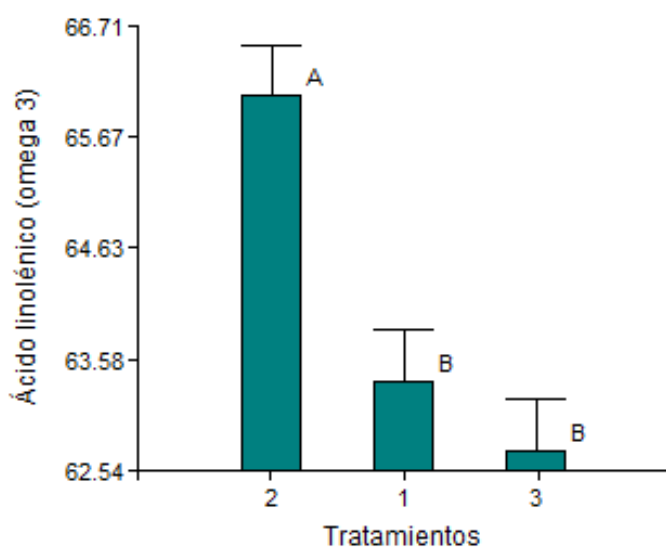


Figura 51. Presencia de ácido linolénico por tratamiento. Fuente. Elaboración propia.

Un segundo grupo de ácidos grasos poliinsaturados, fueron identificados y cuantificados en las muestras de aceite de las semillas de chía; estos fueron

los ácidos: cis-11-14-eicosadienoico, cis-11,14,17-eicosatrienoico, metilcis-5,8,11,14-eicosatetraenoico, y cis-13,16-docosadienoico. La Tabla 39, corresponde a los datos iniciales para la aplicación de los respectivos análisis estadísticos.

Tabla 39. Datos iniciales para el análisis estadístico de los ácidos grasos polinsaturados (%). Grupo 2.

Repet.	Tratam.	Ácido cis-11-14-eicosadienoico	Ácido cis-11,14,17-eicosatrienoico	Ácido metilcis-5,8,11,14-eicosatetraenoico	Ácido cis-13,16-docosadienoico
1	1	0.04	0.04	0.01	0.09
2	1	0.04	0.04	0.01	0.09
3	1	0.04	0.04	0.01	0.08
4	1	0.04	0.04	0.01	0.08
5	1	0.04	0.04	0.01	0.08
6	1	0.04	0.04	0.01	0.08
1	2	0.04	0.04	0.01	0.08
2	2	0.05	0.04	0.01	0.08
3	2	0.04	0.04	0.02	0.08
4	2	0.04	0.04	0.01	0.08
5	2	0.04	0.04	0.01	0.07
6	2	0.04	0.04	0.01	0.07
1	3	0.04	0.05	0.01	0.1
2	3	0.04	0.05	0.01	0.1
3	3	0.04	0.05	0.01	0.1
4	3	0.04	0.05	0.01	0.11
5	3	0.04	0.04	0.01	0.1
6	3	0.05	0.05	0.01	0.12

Fuente. Elaboración propia.

Aplicado el análisis de varianza para la determinación y cuantificación de los ácidos grasos de este grupo, se observó diferencias altamente significativas entre tratamientos para los ácidos cis-11,14,17-eicosatrienoico y cis-13,16-docosadienoico, información que sugiere no rechazar la (H_0), mientras que para los ácidos cis-11-14-eicosadienoico y el ácido metilcis-5,8,11,14-eicosatetraenoico, no se encontraron diferencias significativas entre

tratamientos, lo que sugiere no rechazar la hipótesis nula (H_0). Los coeficientes de variación para los primeros fueron 5.51 y 8; para los segundos fueron 8.5 y 22.33. Los datos obtenidos del análisis pueden observarse en la Tabla 40.

Tabla 40. Análisis de varianza de los ácidos grasos polinsaturados Grupo 2 presentes en la semilla de chía provenientes de dos localidades y una semilla Testigo, 2016.

FdeV	GL	Ácido cis-11-14-eicosadienoico		Ácido cis-11,14,17-eicosatrienoico		Ácido metilcis-5,8,11,14-eicosatetraenoico		Ácido cis-13,16-docosadienoico	
		CM	p-valor	CM	p-valor	CM	p-valor	CM	p-valor
Total	17								
Tratam.	2	0,0000056	0.6472n.s.	0,00014	0.0001**	0,0000056	0.4019n.s.	0,0013	0.0001**
Repet.	5	0.0000089		0.0000056		0.0000056		0.000023	
Error	10	0.000012		0.0000056		0.0000056		0.00005	
CV(%)		8.5		5.51		22.33		8	

**diferencias estadísticas al 1%

n.s. no significativo

Fuente. Elaboración propia.

Las diferencias encontradas entre medias de tratamientos que permiten la comprobación de las hipótesis planteadas para la cuantificación de los ácidos grasos poliinsaturados citados previamente, se estableció mediante la prueba de Tukey. Esta evidencia se observa en los datos reportados en la Tabla 41.

Tabla 41. Promedios, desviación estándar y prueba de Tukey (5 %) de los ácidos grasos polinsaturados (%) del Grupo 2 de la semilla de chía de dos localidades y una semilla Testigo, 2016.

Tratam.	Localidad	Ácido cis-11-14-eicosadienoico	Ácido cis-11,14,17-eicosatrienoico	Ácido metilcis-5,8,11,14-eicosatetraenoico	Ácido cis-13,16-docosadienoico
		Media/Desvest/Rango			
1	Colta	0,04±0,000 a	0,04±0,000 b	0,01±0,000 a	0,08±0,005 b
2	Cotacachi	0,04±0,004 a	0,04±0,000 b	0,01±0,004 a	0,08±0,005 b
3	Testigo	0,04±0,004 a	0,05±0,004 a	0,01±0,000 a	0,11±0,008 a

Promedios seguidos de la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo a la prueba de Tukey (5 %)

Fuente. Elaboración propia.

El presente grupo de ácidos grasos poliinsaturados fueron encontrados en concentraciones muy reducidas y no superiores al 0.1 % para cada uno de ellos en las semillas de los tres orígenes. La literatura revisada en relación a diferentes estudios de identificación de ácidos grasos presentes en la semilla de chía no reporta la existencia de estos ácidos como componentes estructurales principales de la fracción grasa de la semilla. Sin embargo, si se enfoca el factor de dilución al tratar las muestras de aceite para su respectiva conversión en compuestos volátiles que permitan la detección durante la cromatografía de gases, la sensibilidad de la columna cromatográfica puede ser mayor, de modo que detecte hasta la más pequeña de las concentraciones de algún ácido presente en cantidades ínfimas.

La presencia de los ácidos grasos poliinsaturados, identificados en cantidades mínimas en la semilla de chía de los tres orígenes puede apreciarse en las Figuras 52, 53, 54 y 55.

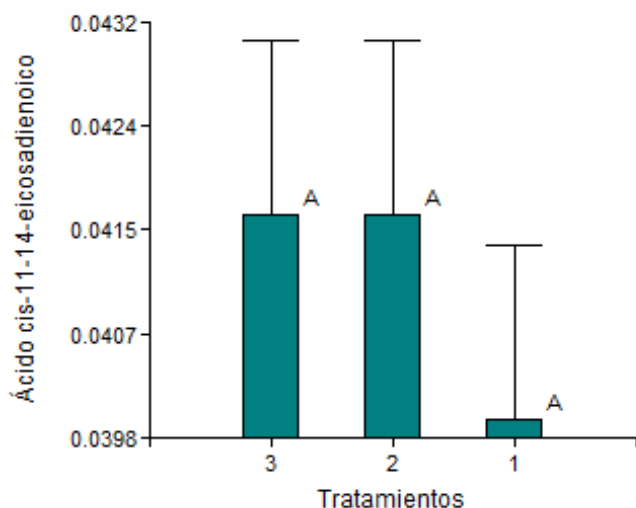


Figura 52. Presencia de ácido cis-11-14-eicosadienoico por tratamiento.
Fuente. Elaboración propia

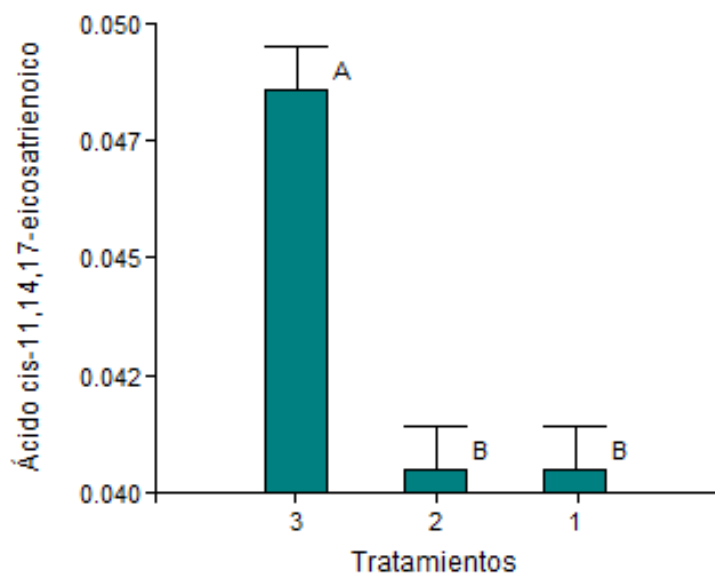


Figura 53. Presencia de ácido cis-11-14-17-eicosatrienoico por tratamiento. Fuente. Elaboración propia

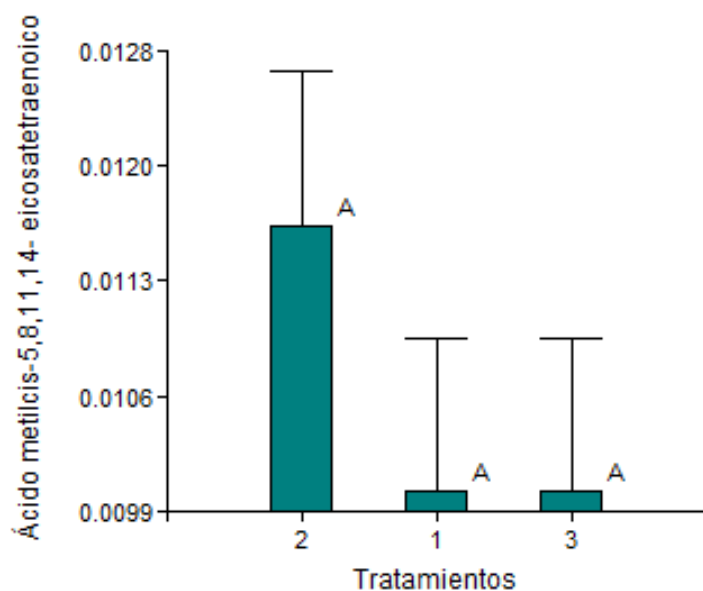


Figura 54. Presencia de ácido metilcis-5-8-11-14-eicosatetraenoico por tratamiento. Fuente. Elaboración propia

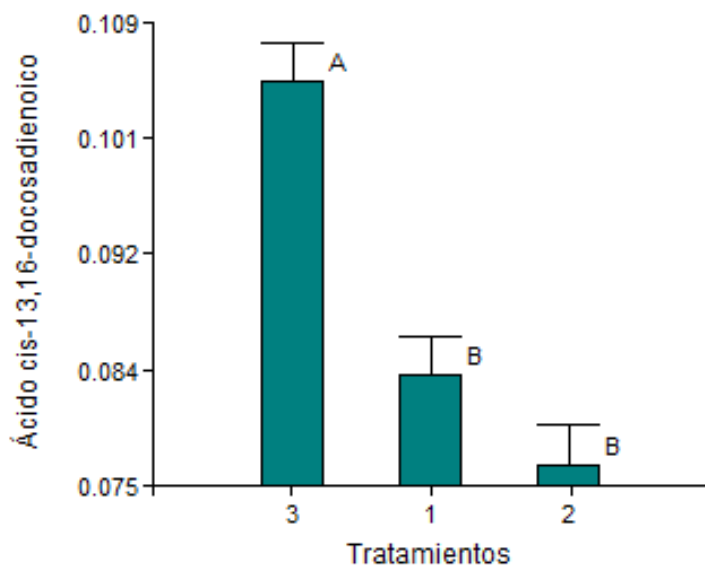


Figura 55. Presencia de ácido cis-11-16-docosadienoico por tratamiento.
Fuente. Elaboración propia

El estudio comparativo de (Vicente, y otros, 2013), realizado con el objetivo de evaluar la calidad organoléptica y contenido de ácidos grasos del aceite extraído de semillas cultivadas en Cuba y Ecuador, reporta que las diferencias encontradas al evaluar la calidad organolépticas y la concentración total e individual de ácidos grasos de los aceites de chía de los dos países en estudio, podrían estar influenciadas por varios factores a saber, el aspecto climático, el manejo del cultivo, el factor edafológico, la altitud del suelo, la variedad de la semilla, entre otras variables que inciden de forma natural durante el desarrollo del cultivo; así, el aceite obtenido de las muestras de semilla proveniente de Cuba, mostró un contenido total de ácidos grasos superior, sin embargo, la proporción de cada ácido graso fue muy similar a las encontradas en el aceite de semilla proveniente de Ecuador, sólo el ácido linoleico mostró una concentración algo superior y el ácido linolénico algo inferior.

Varias investigaciones muestran similares variaciones en la composición de aceites de chía, obtenidos a partir de semillas de *S. hispanica*; por tanto, las diferencias en la concentración del volumen de grasa y de la presencia y

contenido de ácidos grasos está en función del genotipo, de los factores ambientales y de la localidad del cultivo (Ayersa & Coates, 2004) (Ayerza & Coates, 2009), (Ayersa & Coates, 2011).

Finalmente, los principales esteres metílicos encontrados en el presente estudio fueron los siguientes ácidos grasos insaturados: linolénico, linoleico y oleico y, entre los ácidos grasos saturado, se encontró el ácido palmítico y el ácido esteárico; esta información concuerda con los datos reportados por (Ayerza R. , 1995), (Chicco, D'Alessandro, Hein, & Oliva, 2009), (Peiretti & Gai, 2009), (Ixtaina et al., 2010), (Ayersa & Coates, 2011) y (Martinez, y otros, 2012).

La literatura actual presenta diversos trabajos orientados a la obtención de varios tipos de lípidos y posterior caracterización de sus componentes, estas técnicas han sido aplicadas a lípidos como grasas y aceites diversos conteniendo aceite de productos de mar (pescados) o ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga n-3 (Osório, Ferreira, Gusmão, & Fonseca, 2001) y (Jennings & Akoh, 2001).

Las diferencias encontradas en las concentraciones de los ácidos grasos que componen el aceite de la semilla de chía, han sido investigadas y corroboradas en varios estudios afines. Las conclusiones de dichos estudios, apuntan al factor origen como el de mayor influencia sobre la variabilidad en el contenido de los ácidos grasos encontrados, así, factores como el tipo y calidad de suelo, las condiciones climáticas, la temperatura de la zona entre otros, definen la composición de la fracción grasa de la semilla (Gutiérrez, y otros, 2014).

Un estudio realizado por (Ayersa & Coates, 2011) acerca de la caracterización de semillas comerciales de chía de tres ecosistemas diferentes, concluye que las diferencias estadísticas encontradas en función del perfil general de las tres muestras de semilla, pueden ser utilizadas para identificar la procedencia geográfica de la semilla. Esta afirmación deja la

pauta para la identificación del origen de las semillas en estudio. El perfil de ácidos grasos del aceite, así como la composición en triglicéridos han sido factores utilizados en investigaciones de numerosos autores como parámetro de clasificación geográfica de aceites (Boschelle, Giorno, Conte, & Lercker, 1994).

De forma concluyente, el análisis de ácidos grasos que conforman la fracción grasa de la semilla de chía, realizado a través de la transformación de la estructura de las moléculas, constituye la pauta para la aplicación de pruebas que permitan la obtención de glicéridos estructurados que hoy por hoy, son estimados como parte de un alimento funcional por el vasto potencial de prevenir diversas alteraciones relacionadas con el funcionamiento cardiovascular (Gamboa & Gioielli, 2003).

Uceda y Hermoso (1998) estudiaron la composición acídica en aceite de oliva virgen de varias campañas, épocas de recolección de las aceitunas y variedades, y encontraron que el contenido en ácidos grasos tiene un fuerte componente varietal, puesto que más del 70 % de la variabilidad observada podría ser atribuida a dicho factor. Otros factores importantes fueron las diferencias entre campañas y también, con menor importancia, la época de recolección.

En términos generales, se conoce de forma documentada que la altitud y la temperatura ambiental de una zona tienen una relación inversamente proporcional. Así, se ha encontrado una fuerte relación entre la temperatura en crecimiento y la actividad de los procesos fisiológicos y metabólicos en las plantas, esta información ha sido comprobada en la fracción grasa del maíz, jobo y chía; la conclusión radica en que un incremento en la temperatura ambiental tiene una relación inversa en la concentración de aceite, además la temperatura incide sobre el incremento de la composición de ácidos grasos saturados y sobre la disminución de los ácidos grasos insaturados (Ayerza R. , 2011).

4.2.3 Análisis de la proteína (%) de la semilla de chía

La identificación de la proteína contenida en la semilla de chía de las localidades de Colta, Cotacachi y de la semilla Testigo, se evaluó a través de un proceso de tres fases cuya aplicación proyectó los datos originales que figuran en la Tabla 42.

Tabla 42. Datos iniciales para el análisis estadístico de la variable proteína (%).

Repetición	Tratamiento	Proteína (%)
1	1	23,74
1	2	21,19
1	3	22,53
2	1	23,56
2	2	21,37
2	3	21,95
3	1	25,25
3	2	21,25
3	3	22,43

Fuente. Elaboración propia.

El análisis de la varianza para la determinación de la proteína presente en la semilla de chía de los tres orígenes, mostró diferencias altamente significativas entre tratamientos y un coeficiente de variación de 2.41; estos datos sugieren no rechazar la hipótesis alternativa (H_a). Los datos obtenidos del análisis estadístico, pueden observarse en la Tabla 43.

Tabla 43. Análisis de varianza de la variable proteína presente en la semilla de chía proveniente de dos localidades y una semilla Testigo, 2016.

FdeV	GL	CM	p-valor
Total	8	-	-
Tratamientos	2	6.54	0.0069**
Repeticiones	2	0.37	-
Error	4	0.3	-

CV (%) 2.41

**diferencias estadísticas al 1%

Fuente. Elaboración propia.

La identificación de posibles diferencias entre medias de tratamientos y comprobación de las hipótesis planteadas para la determinación de la fracción proteica, se realizó mediante la aplicación de la prueba de Tukey. Esta evidencia puede observarse claramente en los datos reportados en la Tabla 44.

Tabla 44. Promedios, desviación estándar y prueba de Tukey (5 %) de la variable proteína (%) de la semilla de chía proveniente de dos localidades y una semilla Testigo, 2016.

Tratamiento	Localidad	Media/Desvest/Rango
1	Colta	24.18±0.928 b
2	Cotacachi	21.27±0.127 a
3	Testigo	22.3±0.310 a

Promedios seguidos de la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo a la prueba de Tukey (5 %)

Fuente. Elaboración propia.

Las diferencias encontradas en el contenido de proteína de la semilla de la localidad de Colta (24.18 %) supera de forma significativa a los promedios obtenidos en la semilla de la localidad de Cotacachi y de la semilla Testigo cuyos datos obtenidos fueron 21.27 % y 22.3 %, respectivamente.

Estudios realizados acerca de la evaluación química y nutricional de la semilla de chía por (Weber, Gentry, Kohlhepp, & McCrohan, 2010) muestran un contenido de proteína entre 19 y 27 %; estos resultados fueron corroborados más adelante por (Ayersa & Coates, 2010), quienes concluyeron que la semilla de chía posee un contenido de proteínas que va de 16 a 26 %. Estos intervalos son correspondientes a los resultados obtenidos en cuanto a la presencia de proteína en la presente investigación.

Un aspecto sobresaliente en la obtención de los distintos subproductos de la semilla de chía para la extracción de proteína, es la operación de tamizado. La importancia del tipo de tamizado que se aplique, se menciona en el estudio realizado por (Capitani, 2013) donde se obtuvo un incremento de la fracción proteica en las harinas obtenidas por tamizado fino, a partir del

residuo sólido de la extracción del aceite en su estudio de caracterización de los subproductos de la semilla de chía. El mencionado incremento ascendió a 53,4 % para el residuo rico en proteína obtenido por el uso de solventes y a 30,3 % en el residuo rico en proteína obtenido mediante prensado.

Una investigación que evaluó tres fuentes de semillas de chía y dos de semilla de chan, planta del género *Hypnis* y de la misma familia de la chía, para estudiar la composición de grasa, proteína, fibra, ceniza, humedad y presencia de aminoácidos, realizada por Weber, Gentry, Kohlhepp, & McCrohan, 2010, muestra que el rango de concentración de grasa se encuentra entre 15.9 y 34.1 %, la proteína varía entre 19 y 26.5 %, la fibra entre 22.1 y 33.4 % y la fibra dietaria total con una concentración entre 47.1 y 59.8 %. Cabe destacar el detalle de la presencia de aminoácidos donde, la treonina fue el primer aminoácido limitante y, lisina y leucina también fueron reportados como limitantes en la proteína de la semilla de chía.

Los valores porcentuales de la fracción proteica obtenidos en el citado análisis pueden observarse en la Figura 56.

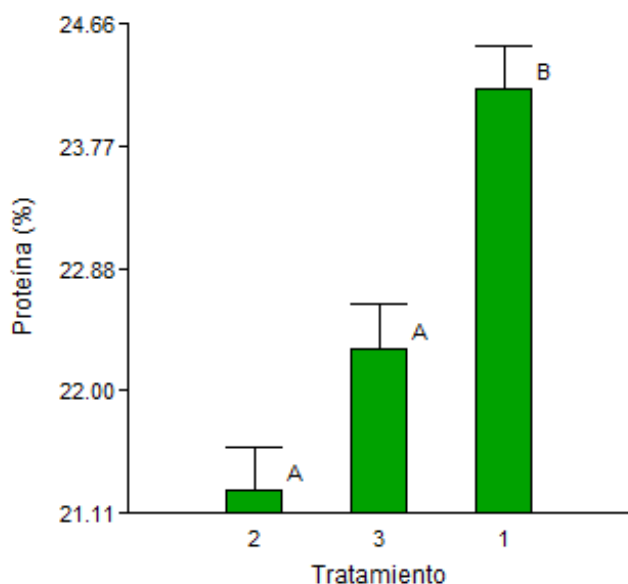


Figura 56. Proteína de la semilla de chía por tratamiento. Fuente. Elaboración propia.

Dada la representativa cantidad de proteína presente en el mucílago de la semilla, se pretende el desarrollo de técnicas y metodologías dirigidas a la separación de la fracción proteica con el propósito de obtener subproductos de mayor pureza según el interés. Al tenor de esto, se pretende la aplicación de estudios de caracterización del perfil de componentes aminoacídicos que conforman dicha fracción cuyos resultados deriven en la elaboración de productos alimenticios funcionales (Capitani, 2013).

4.2.4 Análisis de la fracción de minerales (%) de la semilla de chía

Aplicado el método para la determinación de los minerales presentes en la semilla de chía de los tres orígenes en estudio, a través de la obtención de la materia inorgánica mediante incineración de las muestras, se evaluó el contenido de cenizas totales con los datos iniciales que se presentan en la Tabla 45.

Tabla 45. Datos iniciales para el análisis estadístico de la variable cenizas (%).

Repetición	Tratamiento	Cenizas (%)
1	1	5,05
1	2	5,27
1	3	5,15
2	1	4,84
2	2	3,52
2	3	5,08
3	1	4,97
3	2	5,19
3	3	4,60

Fuente. Elaboración propia.

El análisis de la varianza para la determinación del contenido de minerales totales presente en la semilla de chía de los tres orígenes, no mostró diferencias estadísticas entre tratamientos, lo que sugiere no rechazar la

hipótesis nula (H_0). El coeficiente de variación fue de 12.39. Los datos obtenidos del análisis estadístico, pueden observarse en la Tabla 46.

Tabla 46. Análisis de varianza de la variable cenizas presente en la semilla de chía proveniente de dos localidades y una semilla Testigo, 2016.

FdeV	GL	CM	p-valor
Total	8	-	-
Tratamientos	2	0,08	0.8043n.s.
Repeticiones	2	0,35	-
Error	4	0,36	-

CV=12.39

n.s. no significativo

Fuente. Elaboración propia.

La identificación de posibles diferencias para la comprobación de las hipótesis planteadas en la determinación de los minerales totales presentes en la semilla de chía, se estableció mediante la prueba de Tukey. Esta información se observa en los datos reportados en la Tabla 47.

Tabla 47. Promedios, desviación estándar y prueba de Tukey (5 %) de la variable cenizas (%) de la semilla de chía proveniente de dos localidades y una semilla Testigo, 2016.

Tratamiento	Localidad	Media/Desvest/Rango
1	Colta	4,95±0.106 a
2	Cotacachi	4,66±0.988 a
3	Testigo	4,94±0.299 a

Promedios seguidos de la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo a la prueba de Tukey (5 %)

Fuente. Elaboración propia.

Los datos encontrados a partir del análisis estadístico, son corroborados en un estudio de caracterización y funcionalidad de subproductos de la semilla de chía, realizado por Capitani (2013), donde se reporta la presencia de varios compuestos minerales entre los cuales destacaron el calcio, fósforo, magnesio, hierro, cobre y zinc; figuran como los de mayor proporción, los tres primeros, a su vez, según (Ayersa & Coates, 2004) en una de sus

investigaciones relacionadas con la caracterización nutricional de la chía producida en varios pisos ecológicos de Sudamérica, presenta un contenido total de minerales entre 5-6 %, rango dentro del cual se encuentra en déficit el sodio. Este intervalo fue muy cercano al encontrado en la presente investigación para las semillas de chía de los tres orígenes como puede observarse en la Figura 57.

Los datos citados previamente, son apoyados por (Di Sapio, Bueno, Busilacchi, & Severin, 2008) en su estudio acerca de la caracterización de la semilla de chía para catalogar a la misma como un antioxidante vegetal de suprema importancia. La investigación pone de manifiesto que la chía se destaca entre otros componentes nutricionales, por la presencia de minerales como el Ca con un contenido de 714 mg en la semilla entera y 1180 mg en la harina desengrasada, posee además Fe, Mg, K, F, Zn y Mn, y, uno de los minerales que se encuentra en cantidades deficientes es el Na.

Según Capitani (2013), en su estudio de caracterización de subproductos de chía se resalta a la fracción proteica como la de mayor concentración de compuestos minerales con excepción del Ca.

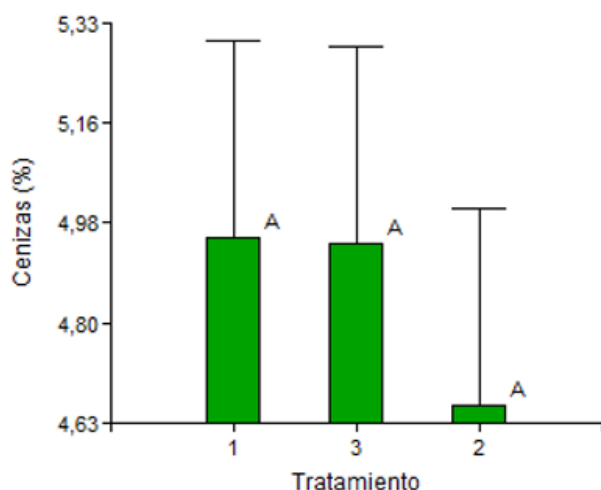


Figura 57. Presencia de minerales por tratamiento. Fuente. Elaboración propia.

4.3 Contraste de hipótesis del estudio

4.3.1 Hipótesis 1

La identificación y cuantificación específica del ácido graso omega-3 presente en la fracción grasa de la semilla de chía de tres orígenes, permite su aprovechamiento a nivel industrial.

Ho: $Fg1 = Fg2 = Fg3$

Ha: $Fg1 \neq Fg2 \neq Fg3$

Los resultados obtenidos en el análisis de la fracción grasa de la semilla de chía de los tres orígenes, ubicó a la semilla de la localidad de Colta como la de mayor contenido de grasa, seguido de la semilla Testigo y finalmente la semilla de la localidad de Cotacachi. Sin embargo, estos no revelaron diferencias estadísticas, únicamente aritméticas, lo que permitió no rechazar la hipótesis nula (Ho).

4.3.2 Hipótesis 2

El contenido de ácido graso omega-3 presente en la fracción grasa, depende del origen de la semilla de chía.

Ho: $Cag1 = Cag2 = Cag3$

Ha: $Cag\ g1 \neq Cag\ 2 \neq Cag\ 3$

En cuanto al contenido de ácido graso omega-3, los resultados obtenidos, sitúa a la semilla de la localidad de Cotacachi como la de mayor contenido del

ácido graso en estudio, respecto de las semillas de la localidad de Colta y la semilla Testigo; dichos resultados permitieron no rechazar la hipótesis alternativa (Ha).

4.3.3 Hipótesis 3

La semilla de chía con mayor contenido de ácido graso omega-3, puede recomendarse para su aprovechamiento en la industria de productos panificables.

Ho: $Ag\Omega-3\ 1 = Ag\Omega-3\ 2 = Ag\Omega-3\ 3$

Ha: $Ag\Omega-3\ 1 \neq Ag\Omega-3\ 2 \neq Ag\Omega-3\ 3$

Las diferencias encontradas en las semillas de los tres orígenes en estudio, respecto del contenido de ácido graso omega-3, permitió recomendar el cultivo y la utilización de las semillas de la localidad de Cotacachi para el aprovechamiento del ácido graso omega-3 en la industria de elaboración de productos panificables; las mencionadas diferencias permitieron no rechazar la hipótesis alternativa (Ha).

4.4 Comparación entre los resultados obtenidos de las dos fases del estudio

El análisis global realizado en función de las variables evaluadas en la presente investigación, a saber: humedad, fracción grasa, proteína y cenizas en una primera fase del estudio realizada en el año 2015 y, variables como peso, humedad, fracción grasa, proteínas y cenizas, evaluadas en la segunda fase en el año 2017, permitió comparar y corroborar varios de los resultados obtenidos de las pruebas aplicadas a las semillas de las dos zonas geográficas en estudio, Colta y Cotacachi y, posteriormente, comparar los mismos con los resultados obtenidos de las pruebas realizadas a las

muestras de la semilla Testigo. En la Tabla 48, se muestra las variables evaluadas con los respectivos valores obtenidos.

Tabla 48. Valores de las variables analizadas en las dos fases del estudio en las zonas de Colta, Cotacachi y en la semilla Testigo.

Año 2015				
Localidad	Grasa	Proteína	Cenizas	Humedad
Colta	31.48	24.64	4.70	5.86
Cotacachi	24.41	21.61	5.2	5.54
Año 2017				
Localidad	Grasa	Proteína	Cenizas	Humedad
Colta	36.33	24.18	4.95	7.05
Cotacachi	35.81	21.27	4.66	6.84
Testigo	36.13	22.3	4.94	6.21

Fuente. Elaboración propia.

Los datos de la Tabla previa muestran el ajuste realizado en la metodología de la primera fase para la obtención del mayor volumen posible de la fracción grasa (aceite de la semilla) en la segunda fase del estudio; este ajuste se hizo con base en los resultados de varios estudios afines realizados previamente para la posterior ejecución de los diferentes análisis de caracterización de la fracción grasa. En cuanto a los resultados de la variable proteína obtenidos en la primera fase, fueron totalmente corroborados en la segunda para las dos localidades de estudio y, con valores medios, se encontró la semilla Testigo. Los resultados arrojados para la variable cenizas fueron confirmados en la segunda fase con ligeras variaciones aritméticas que no representaron diferencias estadísticas incluso para la semilla Testigo y; finalmente, los resultados obtenidos para la variable humedad, presentaron ligera superioridad en la fase de confirmación del estudio.

4.5 Implicaciones de la aplicabilidad de la caracterización de la semilla de chía en la línea de panificación de la industria alimentaria

Los subproductos de la semilla de chía como harinas, cuya fracción contiene mayoritariamente fibra dietaria y mucílago, tienen una potencial importancia respecto de su aplicación en varias líneas de producción de la industria alimentaria, harinas de premezcla y películas biodegradables, respectivamente. Se destaca además, la superioridad de la harina de chía respecto de su contenido nulo de gluten por la ausencia de proteínas responsables de su formación, esto deriva en la posibilidad de elaboración de productos destinados a consumidores susceptibles por tener requerimientos especiales como la población celiaca (Capitani, 2013).

El estudio de Capitani citado previamente, señala que los resultados obtenidos de la aplicación de pruebas físicas, químicas y funcionales a los subproductos de la semilla de chía, permiten la utilidad de estos como un ingrediente para la elaboración de alimentos y productos funcionales varios.

Respecto de la variabilidad en la composición bioquímica nutricional de harinas integrales de cereales evaluadas en un estudio comparativo, es variable al igual que las características físicas de las semillas, y en esto influye la variedad genética de la que se trate, el nivel de fertilidad del suelo y las condiciones del medio ambiente que, sin duda, afectan a la expresión genómica de la planta (Cervilla, Mufari, Calandri, & Guzmán, 2012).

El área de los alimentos, es sin duda una de las más beneficiadas de las técnicas basadas en la cromatografía de gases para la identificación de moléculas de alto valor biológico que constituyen componentes funcionales para el desarrollo de alimentos (Olguín & Rodríguez, 2004).

4.5.1 Subproductos semielaborados obtenidos a partir de la semilla de chía

El potencial de la chía dentro de la industria alimentaria se debe, entre otros factores, a la presencia de ácidos muy importantes para la nutrición humana cuya ventaja radica en la mínima oxidación que sufren estos componentes (Tosco, 2014). La presencia de fibra dietaria, constituye otro factor que cataloga a la chía como superior a las tradicionales fuentes como trigo, maíz, cebada y soya (Dhingra, Michael, Rajput, & Patil, 2012).

La información previa coloca a la semilla de chía dentro de un mercado potencial para la producción de ingredientes ricos en fibra y ácidos grasos esenciales para la utilización en la industria, una amplia gama de productos derivados de este pseudocereal es desarrollada y comercializada hoy en día (Tosco 2014). La tendencia a la ampliación de la gama de productos de diferentes tipos como lácteos y productos panificables incorpora ácidos grasos poliinsaturados y funcionales que sustituyen a los ácidos grasos saturados (Erasto, Grierson, & Afolayan, 2007).

Las propiedades emulsionantes, dispersantes y estabilizantes de la fracción lipídica denominada lecitina, cuya utilidad en la industria alimentaria se ha incrementado notablemente, tiene relación directa con la carga eléctrica de los lípidos (fosfolípidos) constituyentes y con la composición de los ácidos grasos. Es decir, un fosfolípido de carga negativa presentará propiedades físicas en solución diferentes respecto de otro de carga neutra; la interacción con el agua, está definida por el estado de ionización del fosfolípido; por tanto, un fosfolípido de carga negativa incrementa la estabilidad coloidal de las emulsiones (Carlsson, 2008).

Uno de los productos semielaborados a base de lípidos (lecitinas), para el desarrollo de alimentos, son las llamadas emulsiones, suspensiones dispersas de dos fases inmiscibles entre sí, donde una es lipídica y la otra constituye la fracción acuosa. Entre las propiedades fisicoquímicas más sobresalientes que destacan a los hidrocoloides vegetales figuran la

dispersión en agua, la gelificación y la viscosidad mismas que son de preponderante importancia si el enfoque es el desarrollo de productos de la línea de panificación (Guiotto, 2014).

Un estudio basado en la elaboración de emulsiones cuyos ingredientes principales fueron la lecitina como agente emulsificante y el mucílago como agente estabilizante de las semillas de girasol y chía, respectivamente, evalúa la estabilidad de las emulsiones frente a la separación de las fracciones por acción de la gravedad y a la coalescencia durante el almacenamiento en frío (Guiotto, 2014).

Los resultados del citado estudio reportaron que para los dos métodos aplicados, (cuya diferencia radicó en la proporción de proteínas y lípidos utilizados), las emulsiones O/W (bajas concentraciones de aceite en altas de agua) exhibieron una estabilidad alta durante el periodo de almacenamiento, hecho que se atribuyó a la viscosidad elevada de la fase continua (fracción acuosa) dada la presencia de mucílago de la semilla de chía, lo que reduce la probabilidad de que las gotas se agreguen (Guiotto, 2014).

La European Food Safety Authority (EFSA, 2009), dio a conocer acerca de la inocuidad de la chía para ser utilizada como ingrediente de alimentos en semilla entera y triturada. Dentro de la información emitida, se pronunció además respecto de la autorización de la semilla para ser comercializada para su uso en la elaboración de productos de panadería en un contenido máximo de 5%. Más adelante, en 2013, se introdujo como ingrediente en diversos productos alimentarios como cereales de desayuno, frutos secos, entre otros (Haros, 2013).

4.5.2 Incorporación de la semilla de chía en la línea de producción de alimentos panificables

La utilización de la semilla de chía o de sus derivados en la línea de panificación presenta beneficios respecto de la elaboración de estos productos con ingredientes convencionales cuya riqueza atañe únicamente

a los almidones. El uso de lecitinas emulsionables en la panificación, constituye un mejorador de volumen, acondicionador de la masa y reemplazante de las funciones de la yema de huevo (Guiotto, 2014) incidiendo además, en la conservación de las propiedades funcionales de la semilla (Fuentes, 2012).

Un estudio acerca de la optimización de productos elaborados a partir de semillas de chía y lino, cuyo objetivo fue evaluar la calidad de productos panificables libres de gluten con la utilización de harinas de chía y lino, demostró que las características del producto final superan al elaborado de forma convencional. Inicialmente, la masa obtenida presentó mayor volumen, esponjosidad y elasticidad, en cuanto a las propiedades químicas de composición, mostró una mayor concentración de fibra y mejor relación entre lípidos; la semilla de chía contiene una concentración mayor de fibra dietética soluble (FDS) respecto de las semillas de lino, esta propiedad permite aromas y sabores agradables en el producto terminado. Finalmente, respecto de las características sensoriales, el pan elaborado con harinas de chía y lino, tuvo mayor aceptación que el elaborado a partir de formulaciones comunes; la sustitución de un 3 % en peso de las harinas por semillas molidas de chía otorgó al pan características superiores a las obtenidas en el producto convencional.

En el citado estudio se concluyó que las características nutricionales del pan elaborado a partir de la fórmula con harinas de semillas, superan ampliamente en un 36 % de proteínas, 63 % de grasas poliinsaturadas, 40 % de grasas monoinsaturadas y 185 % en concentración de fibra dietaria al pan obtenido de la formulación con ingredientes convencionales. Los productos terminados, desarrollados en el estudio ofrecieron propiedades reológicas superiores, mayor tiempo de vida útil y mejores propiedades nutricionales en relación a los productos panificables de formulación tradicional (Garda, Alvarez, Lattanzio, Ferraro, & Colombo, 2012).

Respecto de las características físicas como el volumen, este se presentó en promedios superiores en la fórmula estándar en comparación con la formulación con semillas de chía, misma que superó a la formulación de pan convencional en un 13 %. En cuanto a la densidad, el pan elaborado con la fórmula cuyo ingrediente alternativo constituyó la semilla de chía, resultó poseer una densidad menor que el pan diseñado con la fórmula estándar. Esto explica la mayor esponjosidad y menor apelmazamiento de la masa durante la cocción en el producto final elaborado con semillas. Ligado a estas características, se encontró además predominancia en el levantamiento de la masa, el cual fue superior en un 35 % en comparación con la altura del pan elaborado con la formulación estándar de ingredientes convencionales (Garda, Alvarez, Lattanzio, Ferraro, & Colombo, 2012).

Conclusiones de un estudio adicional, en el que se evalúa las propiedades funcionales de la chía, en la semilla y en harina desprovista de la grasa elaborado por (Espinosa, 2017), reportan que la capacidad de retención de agua (CRA) de la muestra de harina es menor que la muestra de semilla entera (Beltrán, Salgado, & Cedillo, 2005). Por tanto, mientras mayor es el tamaño de las partícula, mayor es la CRA en la masa panaria; valores elevados de la CRA, se debe a la concentración de fibra soluble presente en la semilla (Ixtaina, 2010). Respecto de la capacidad de hinchamiento y capacidad para formar emulsiones, se reportaron valores similares para las dos muestras en estudio y, en cuanto a la capacidad gelificante, es la semilla entera la que presentó mayor capacidad para formar geles.

Los resultados obtenidos de aplicar una evaluación a las propiedades funcionales de la chía, permiten la utilización de este pseudocereal tanto en semilla entera como en sus respectivos derivados semielaborados como las harinas. Muchas de las características nutricionales, organolépticas, físicas, funcionales y tecnológicas mostradas en los productos de panificación diseñados a partir de la semilla de chía, se constituyen en parámetros superiores en relación a los mostrados en productos de panificación

elaborados con base en formulaciones realizadas con ingredientes farináceos convencionales.

Los productos panificables elaborados en sustitución parcial de la harina de trigo representan hoy en día una alternativa en la búsqueda de alimentos de consumo diario con características nutricionales que favorezcan requerimientos especiales o reemplacen aquellos que carecen de factores nutricionales necesarios para el equilibrio del metabolismo humano.

La vasta investigación de pruebas bioquímicas aplicadas a las semillas de lino y de chía, permiten resaltar las diferencias en cuanto a la composición química debidas a las variadas características de las diferentes zonas de cultivo, así, la semilla de chía posee mayor proporción de fibra dietética con relación al lino, lo que le confiere una mayor (5 veces aproximadamente) capacidad de retención de agua (CRA) (Beltrán, Salgado, & Cedillo, 2005) Los diversos tipos de pan que se han diseñado con base en harinas diferentes a la obtenida del grano de trigo, en términos generales, carecen de amplia aceptabilidad; la razón radica en la incapacidad de dichas harinas para formar estructuras glutinosas al ser amasadas con agua (Sánchez, González, Osella, Torres, & De la Torre, 2008).

Los estudios previos relacionados con la sustitución de harina de trigo por harinas de semillas ricas en ácidos grasos insaturados de la familia omega y factores mucilaginosos como la chía, utilizada en proporciones de alrededor de 4 % respecto del peso total de harina en la formulación, permite concluir de la superioridad nutricional de los productos de panificación elaborados con semillas de chía como puede observarse en la Tabla 49.

Tabla 49. Propiedades nutricionales del pan elaborado con harina de chía frente al pan de harina de trigo.

Propiedad físico-química	Pan de harina de chía	Pan de harina de trigo (convencional)
Grasa	9.02	3.85
Proteína	11.06	13.82
Carbohidratos totales	76.82	67.6
Fibra	3.96	2.8
Cenizas	2.05	1.09

Fuente. (Dyner, y otros, 2007), (Zuleta, y otros, 2012), (Justo, y otros, 2017), (Aguilar, De Palomo, & Bressani, 2004).

La composición química reflejada en la tabla previa indica una concentración mayor de grasa, la cual equivale mayoritariamente a grasa insaturada, en el pan elaborado con harina de chía; la presencia de proteína es ligeramente menor, respecto de la concentración de carbohidratos supera a la encontrada en el pan de trigo debido a la presencia de mucílago y fibra dietaria que junto con varios azúcares simples y almidón, conforman dicha fracción; es de resaltar que este último componente está presente casi en un 100 % en las harinas refinadas de trigo y se refleja como único carbohidrato en el pan blanco de consumo masivo; finalmente, en cuanto a la presencia de cenizas el pan con sustitución de harina de chía supera en la proporción de cenizas al pan elaborado con harina de trigo.

De forma puntual, el pan elaborado con semilla de chía molida es una fuente óptima de hidratos de carbono, así como de proteínas y grasas y aporta además ácidos grasos esenciales, como los de la serie omega. Se concluye que el pan elaborado con harina de chía como ingrediente alternativo, es fuente de ácidos grasos insaturados totales y sobresale especialmente, en el aporte de los ácidos grasos esenciales omega-3 y omega-6. Esta información puede apreciarse en la Tabla 50 a continuación.

Tabla 50. Ácidos grasos presentes (%) en el pan de harina de chía frente al pan de harina de trigo.

Tipo de ácidos grasos	Pan de harina de chía	Pan de harina de trigo (convencional)
Ácidos grasos saturados	0.52	0.39
Ácidos grasos insaturados	2.35	0.62
Ácidos grasos mono-insaturados	0.90	0.28
Ácidos grasos poli-insaturados	1.45	0.34
Ácidos grasos omega-3	0.75	<0.1
Ácidos grasos omega-6	0.68	<0.1

Fuente. (Ortuño, 2017) y (Hernandez, 2010).

La interpretación de los resultados obtenidos del estudio de Garda, 2012, demuestran que la incorporación de harina de semillas de chía en sustitución parcial, ralentiza el proceso de envejecimiento del producto final. Se demuestra, además, que el mucílago tiene un efecto favorecedor del volumen por tanto de la esponjosidad de la masa, factores que resultan en la menor densidad final del producto. La calidad de la miga del pan de trigo resultó mucho más compacta dado el reducido tamaño de los alveolos que conforman la fase gaseosa; esta característica se vio reflejada en la medida de la fuerza y el corte evaluados en la miga del pan, este último fue incompleto en el pan elaborado con harina de semillas de chía lo cual indica mayor capacidad de esponjosidad y elasticidad en el producto terminado. Para la característica de humedad en la masa, se encontró mayor CRA y menor pérdida de esta durante el proceso de cocción.

4.5.3 Aprovechamiento del ácido graso omega-3 en el diseño de productos panificables

El volumen de grasa presente en la semilla de chía y la abundancia de los ácidos grasos insaturados de la serie omega, cuyos beneficios han sido

probados en variadas investigaciones, hace de los productos diseñados a partir de esta semilla, alimentos alternativos para incrementar la gama de los denominados alimentos funcionales en una línea de producción de alimentos de consumo masivo como la panificación por contener ingredientes alimenticios que proporcionan un beneficio específico para la salud y que supera a los nutrientes tradicionales contenidos en dichos alimentos (Thomas & Earl, 1994).

Tal es el caso de los ácidos grasos esenciales como los ácidos omega-3 y omega-6 presentes en la semilla de chía cuyos beneficios sobre la prevención y mantenimiento de la salud cardiovascular le confiere excepcional importancia por ser la fuente vegetal más abundante en ácido graso omega-3.

La evaluación realizada a la semilla de chía de los tres orígenes (Colta, Cotacachi y la semilla Testigo) en el presente estudio, permitió concluir que hay efecto de las condiciones ambientales de la zona de cultivo sobre las propiedades físico-químicas de la semilla. Con base en los resultados bioquímicos obtenidos, mismos que reflejan la superioridad lipídica de la semilla producida en la zona de Cotacachi por presentar mayor contenido de ácido graso omega-3, se infiere que la semilla de dicha localidad constituye el material vegetal con mayor aptitud para su utilización y aplicación en diferentes líneas de panificación a nivel industrial dado el perfil de ácidos grasos que componen la fracción grasa de la semilla; por consiguiente, la siembra de chía en zonas bajas resulta en una óptima actividad agrícola para la obtención de semillas de chía con características bioquímicas específicas que permitan el aprovechamiento a nivel industrial. El incremento del cultivo de chía en las condiciones ambientales de zonas relativamente bajas, redundará en la reducción de la siembra de cultivos tradicionales y en la disminución de la dependencia de las importaciones de trigo en el Ecuador; la calidad nutricional y tecnológica de la chía sumado al óptimo rendimiento de grasa y a la mayor presencia de ácido omega-3, hacen de esta semilla una alternativa de amplio uso industrial; así, la semilla de chía y sus

productos semielaborados como harinas de molienda gruesa, harinas finas, harinas desgrasadas, harinas altas en fibra, aceite, entre otros, constituyen insumos para varias líneas de diseño y elaboración de productos farináceos como la de panificación, elaboración de pastas proteicas y repostería.

Un estudio adicional que trata acerca de la sustitución de harina de trigo por harina de otro cereal, arroz en este caso, elaborado por (Reyes, De Palomo, & Bressani, 2004) cuyo objetivo fue hacer una evaluación físico-química (nutritiva y sensorial) del pan obtenido de la sustitución parcial de harina de trigo, reporta también, a través de varias pruebas que el pan elaborado de forma alternativa fue superior en algunos parámetros nutritivos como la cantidad de grasa, proteína y cenizas, y parámetros físicos como la absorción de agua en la masa. Sin embargo, una de las características carentes en el pan elaborado en sustitución con harinas de arroz es la esponjosidad de la masa durante la cocción y posterior permanencia del gas en el pan terminado, característica sobresaliente en productos panificables elaborados en sustitución con harina de chía (Garda, Alvarez, Lattanzio, Ferraro, & Colombo, 2012).

La Figura 58, muestra las operaciones unitarias en el flujo de proceso para la obtención de pan elaborado en sustitución parcial de harina de chía.

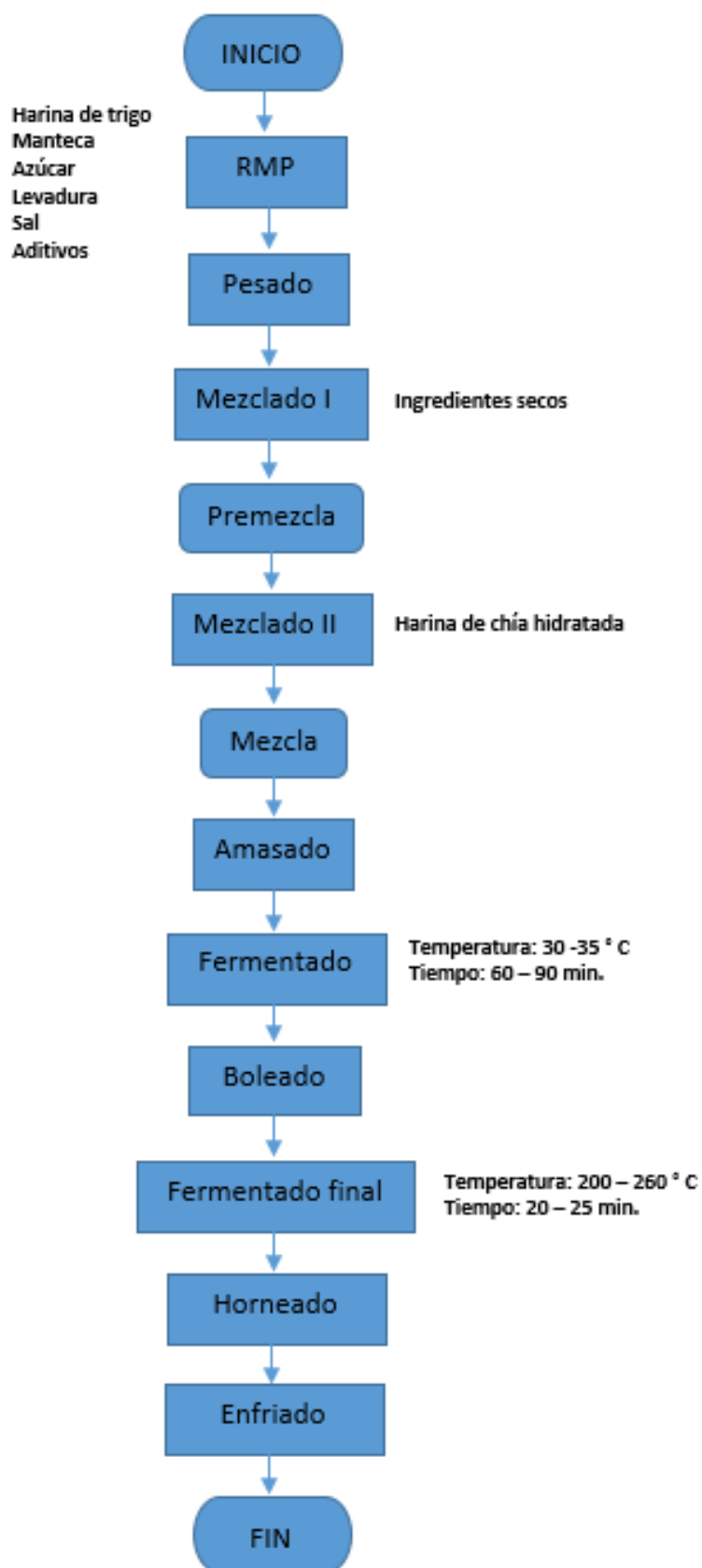


Figura 58. Flujo de proceso de la elaboración de pan con harina de chíá.
Fuente. Elaboración propia.

Las investigaciones han asociado de forma directa la prevención y tratamiento de las enfermedades relacionadas con la función cardiaca y varios factores de riesgo al componente dietario (aporte calórico, contenido y tipo de grasa, fibra dietética, colesterol, vitamina E, carotenoides y otros compuestos no nutricionales) (Aráuz, Monge, Muñoz, & Rojas, 1991).

La recomendación general reportada por estudios relacionados con el aprovechamientos de la semilla de chía y subproductos para la utilización en mezclas de panificación oscila entre el 5 - 6 % según el objetivo tecnológico (Borneo, Aguirre, & León, 2010).

La incorporación de harinas de chía a mezclas para panificación incide en varios parámetros citados a continuación (Di Sapia, Bueno, Busilacchi, & Severin, 2008), (Borneo, Aguirre, & León, 2010) y (Haros, 2013).

- Menor oxidación de lípidos
- Mayor valor nutricional
- Menor cambio de propiedades organolépticas
- Mayor tiempo de vida útil
- Mayor CRA por acción del mucílago
- Aumento del volumen específico
- Mayor intensidad del color de la miga
- Mejor formulación y dosificación
- Mejora características de estabilidad
- Mejor calidad panificable del producto final
- Mejora en el proceso de producción
- Reduce tiempos de producción

Una investigación realizada por (Iglesias & Haros, 2013) que evalúa las características de amasado, sobreamasado y las propiedades térmicas del pan elaborado con subproductos de chía, reporta que las muestras con chía fueron superiores de forma significativa en el contenido de nutrientes

energéticos como las proteínas, los lípidos y fibra dietética y además en el contenido de cenizas en el producto terminado respecto del pan testigo; estos datos se reportan en la Tabla 51.

Tabla 51. Comparación del perfil nutricional de pan desarrollado con varios subproductos de chía y el pan testigo.

Muestra	Humedad	Lípidos	Proteínas	Cenizas	Fibra dietaria
Pan (muestra testigo)	34,8	0,25	16,1	1,99	5,0
Pan (5% de semilla)	33,7	2,11	16,9	2,47	6,8
Pan (5% de harina)	33,9	2,21	17,1	2,40	6.3
Pan (5% de harina semi desengrasada)	36,0	0,91	16,9	2,51	7,0

Fuente. (Iglesias & Haros, 2013).

El estudio citado previamente, reporta al pan elaborado con diferentes subproductos de chía como el de mayor calidad nutricional, tecnológica y sensorial en comparación con el pan testigo.

De forma concluyente, la composición química de los factores lipídicos y el valor nutricional inherente, hace de la chía una semilla con amplio potencial en la industria alimentaria. A la par, los resultados obtenidos en estudios afines gracias a la tecnología disponible constituyen una vasta oportunidad para el desarrollo de la mencionada industria (Ayerza & Coates, 2006).

V. CONCLUSIONES

- 5.1** La caracterización de la fracción grasa de la semilla de chía proveniente de los tres orígenes, dos localidades de condiciones ambientales diferentes, Colta y Cotacachi, y una semilla comercializada en empaque como la muestra Testigo, se realizó mediante la aplicación de la técnica de cromatografía de gases con detector FID y permitió la identificación y cuantificación de veinte y dos (22) ácidos grasos presentes.
- 5.2** Los ácidos grasos encontrados en la semilla de chía de los tres orígenes fueron los ácidos grasos insaturados de la familia omega; en orden de abundancia, los ácidos presentes fueron, el ácido linolénico (omega-3), en concentraciones promedio de 63.38 %, 66.05 % y 62.73 % para los orígenes de Colta, Cotacachi y Testigo, respectivamente; el segundo más abundante fue el ácido linoleico (omega-6) encontrado en un 17.39 %, 16.0 % y 17.2 % para los tres orígenes respectivamente y, el ácido oleico (omega-9) en concentraciones de 5.84 %, 5.65 % y 6.34 % para las dos localidades y el testigo. Entre los ácidos grasos saturados, se encontraron los ácidos: palmítico, en promedios de 7.65 %, 7.05 % y 8.2 % y el ácido esteárico se encontró en concentraciones de 3.71 %, 3.12 % y 3.75 % para los tres orígenes respectivamente.

- 5.3** El segundo objetivo se concretó con la identificación de la relación existente entre el contenido de ácido graso omega-3 y el origen de la semilla. Dicha relación se fundamentó en la temperatura de la zona de cultivo, donde, la reducción de la temperatura ambiental incidió de forma directamente proporcional a la concentración del ácido linolénico (omega-3). Así, la semilla procedente de la localidad de Cotacachi con una temperatura promedio de 17.5 °C superó en contenido de ácido linolénico (66.05 %) a la semilla cultivada en Colta (63.38 %), zona caracterizada por una temperatura promedio de 12.5 °C y a la semilla estudiada como la muestra Testigo (62.73 %).
- 5.4** El caso de los ácidos oleico (omega-9) y linoleico (omega-6), se presentó de forma contraria a la encontrado para el ácido linolénico (omega-3); respecto de la temperatura de la zona, la semilla de Colta superó a la semilla procedente de Cotacachi; el contenido de omega-9 se encontró en 5.84 % y 5.65 % para las dos localidades respectivamente; en cuanto al ácido omega-6, se encontró contenidos de 17.39 % y 16.0 % para las semillas de las localidades de Colta y Cotacachi, respectivamente. Cabe recalcar que el contenido del ácido graso omega-9 de la semilla Testigo fue superior al encontrado en la semilla de las dos localidades y; en relación al ácido graso omega-6, la semilla Testigo supera solamente a la semilla procedente de la localidad de Cotacachi.
- 5.5** En relación al tercer objetivo, se seleccionó el material de chía cuyo contenido de ácido graso omega-3, fue el mayor. El análisis permitió identificar a la semilla proveniente de la localidad de Cotacachi como la de mayor riqueza en el mencionado ácido; esta información constituyó la pauta para la recomendación del cultivo de la semilla de chía que prolifera y se desarrolla con las características ambientales de la zona de Cotacachi, la misma reportó el contenido más alto de ácido graso omega-3 con 66.05 % y la semilla Testigo con el contenido menor, 62.73 %.

5.6 La incorporación de semillas de chía o los respectivos subproductos como harinas integrales, harinas desengrasadas y semidesengrasadas, en sustitución de harina de trigo hasta 5% en peso, incide de forma positiva sobre la calidad total (nutritiva, organoléptica y funcional) de los productos panificables. Características paramétricas como el volumen específico, textura de la miga y de la corteza, color de la miga y de la corteza, humedad, minerales, concentración de lípidos, contenido de proteínas y fibra dietética y, retrogradación de los componentes del almidón, presentan superioridad respecto del producto panificable elaborado a partir de materiales vegetales convencionales.

VI. RECOMENDACIONES

6.1 La identificación y cuantificación de los ácidos grasos presentes en la semilla de chía, a través de la cromatografía de gases y otras posibles técnicas de determinación de componentes específicos, puede constituir el punto de partida para el reconocimiento de amplias posibilidades de aprovechamiento de las bondades otorgadas por factores nutricionales presentes en las semillas y, además, la posible transformación de las moléculas para incrementar su potencial al ser aplicada en alimentos con valor agregado, campo al que se dedica la industria alimentaria en su búsqueda por satisfacer la necesidad número uno del hombre, la alimentación sana y segura.

6.2 Las condiciones edafoclimáticas bajo las cuales se desarrolla determinado cultivo, constituye un factor de vasta incidencia sobre el perfil general de una semilla y sobre la composición de cada una de las fracciones nutricionales; todas ellas, según el objetivo tecnológico, podrían ser evaluadas al punto de determinar, no sólo la presencia de estas, sino además, la correspondencia que existe entre los diferentes componentes cuya relación, redunde en una acción nutricional y fisiológica específica, tal es el caso de la correlación existente entre los ácidos grasos omega-3:omega-6 presentes en la semilla de chía. Por tanto, la adición de aceites vegetales abundantes en ácido linolénico (omega-3) optimiza dicha correlación y beneficia la conversión a EPA y DHA.

- 6.3** Si bien la incidencia de la temperatura juega un papel importante a la hora de determinar la presencia de los diferentes componentes estructurales de una semilla, se considera de mucha utilidad, el conocimiento de la influencia de factores adicionales que acompañan a la temperatura como la altitud de la zona de cultivo y la riqueza mineral del suelo sobre la composición de las fracciones que componen el perfil lipídico de la semilla de chía de modo que permita estimar las características específicas de composición y la correlación entre ellas en función de la incidencia de los factores agroclimáticos.
- 6.4** La correlación existente y comprobada entre el perfil bioquímico de las semillas y las condiciones ambientales de la zona de cultivo, apertura el camino para la investigación y selección de las variedades más aptas para el desarrollo general de los componentes y específico de cada uno de estos en función de las condiciones que caracterizan el ambiente. Esta importante consideración, permitirá la obtención de productos agrícolas con características específicas para ser aprovechadas por la presencia de factores nutricionales beneficios a nivel fisiológico; así, si el interés es obtener una semilla de chía con un contenido elevado de grasa y cuya composición sea abundante en ácido graso omega-3, se recomienda la planificación del cultivo en la zona de Cotacachi, provincia de Imbabura.
- 6.5** Al tenor de los beneficios comprobados que otorgan los componentes biológicos de la semilla de chía, se propone la profundización de los estudios relacionados con la incorporación de aceite de semillas de chía en el desarrollo de alimentos funcionales. Por otro lado, se plantea el estudio del comportamiento fisicoquímico y funcional de los subproductos obtenidos del procesamiento de la semilla de chía (aceite, proteínas, fibra dietaria y mucílago) para su utilización como aditivos alimentarios (emulsionantes y estabilizantes) de mezclas y premezclas en la línea de producción de alimentos farináceos con estabilidad física que redunde en la conservación de la calidad nutricional y organoléptica de dichos alimentos.

VII.REFERENCIAS

- Aguilar, R., De Palomo, P., & Bressani, R. (2004). Desarrollo de un producto de panificación apto para el adulto mayor a base de harina de trigo y harina de arroz. . *Archivos latinoamericanos de nutrición*, 314-321.
- Almazan, A., & Odeyeye, S. (1998). Fat and Fatty Acid Concentrations in Some Green Vegetables. *Journal of Food Composition and Analysis*, 375-380.
- Apel, K. (1976). *Transformation der Phylosophie*. Frankfurt: Suhrkamp.
- Araneda, M. (17 de Marzo de 2016). *Edualimentaria.com*. Obtenido de Grsas y colesterol: <http://www.edualimentaria.com/grasas-colesterol-alimentos>
- Aráuz, A., Monge, R., Muñoz, L., & Rojas, M. (1991). La dieta como factor de riesgo de la enfermedad cardiovascular en habitantes del área metropolitana, San José, Costa Rica. *Archivos latinoamericanos de nutrición* , 350-362.
- Ávila, S. (Noviembre de 2017). *e-medida.es*. Obtenido de Cromatografía de gases: <http://www.e-medida.es/documentos/Numero-10/cromatografia-de-gases>
- Ayersa, R., & Coates, W. (2004). Composition of chia (*Salvia hispanica*) grown in six tropical and subtropical ecosystems of South America. *Tropical Science*, 131-135.
- Ayersa, R., & Coates, W. (2010). Protein content, oil content and fatty acid profiles as potential criteria to determine the origin of commercially grown chia (*Salvia hispanica* L.). *Industrial Crops and Products*, 1366-1371.
- Ayersa, R., & Coates, W. (2011). Protein content, oil content and fatty acid profiles as potential criteria to determine the origin of commercially grown chia (*Salvia hispanica* L.). *Industrial Crops and Products*, 66-71.

- Ayerza, R. (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*, 1079-1081.
- Ayerza, R. (2011). The seed's oil content and fatty acid composition of chia (*Salvia hispanica* L.) Var. Iztac 1, grown under six tropical ecosystems conditions. *Interciencia*, 620-624.
- Ayerza, R. (2013). Seed composition of two chia (*Salvia hispanica* L.) genotypes which differ in seed color. *Emirates Journal of Food and Agriculture; Al-Ain*, 495-500.
- Ayerza, R., & Coates, W. (2002). Dietary levels of chia: Influence on hen weight, egg production and sensory quality, for two strains of hens. *British Poultry Science*, 283-290.
- Ayerza, R., & Coates, W. (2006). *Chía, Redescubriendo un olvidado alimento de los Aztecas*. Buenos Aires: Del Nuevo Extremo.
- Ayerza, R., & Coates, W. (2009). Some quality components of four chia (*Salvia hispanica* L.) genotypes grown under tropical coastal desert ecosystem conditions. *Asian Journal of Plant Sciences*, 1-7.
- Becker, C., & Kyle, D. (1998). Developing functional food containing algal docosahexaenoic acid. *Food Technology*, 68-71.
- Beltrán, M., Salgado, M., & Cedillo, D. (1 de Junio de 2005). Estudio de las propiedades funcionales de la semilla de chía (*Salvia hispanica*) y de la fibra dietaria obtenida de la misma. *Respyn*, 358-366.
- Borneo, R., Aguirre, A., & León, A. (2010). Chía (*Salvia hispanica* L.) gel can be used as egg or oil replacer in cake formulations. *Journal of the American Dietetic Association*, 946-949.
- Boschelle, O., Giorno, A., Conte, L., & Lercker, G. (1994). Caratterizzaziione delle cultivar di olivo del Golfo di Trieste mediante metodi chemiometrici applicati ai dati chimico-fisici. *Rivista Italiana delle Sostanze Grasse*, 57-65.
- Brenna, T. (2002). Efficiency of conversion of α -linolenic acid to long chain n-3 fatty acids in man. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*, 127-132.
- Budge, M. (1974). The Relations of Logic and Semantics to Ontology. *Journal of Philosophical Logic*, 195-219.
- Bueno, M., Di Sapio, O., Barolo, M., Busilacchi, H., Quiroga, M., & Severin, C. (2010). Análisis de la calidad de los frutos de *Salvia hispanica* (Lamiaceae) comercializados en la ciudad de Rosario (Santa Fe, Argentina). *Boletín Latinoamericano del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 221-227.
- Bunge, M. (1999). *La Investigación Científica*. Madrid: Ariel.
- Bunge, M. (2006). *Chasing reality: Strife over realism*. Toronto: Toronto Press.
- Capitani, M. (2013). *sedici.unlp.edu.ar*. Obtenido de unlp.edu.ar: [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/26984/Documento_completo.%20Capitani%20\(SP\).pdf?sequence=1](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/26984/Documento_completo.%20Capitani%20(SP).pdf?sequence=1)

- Capurro, R. (2007). Epistemología y ciencia de la información. *Enl@ce: Revista Venezolana de Información, Tecnología y Conocimiento*.
- Carlsson, A. (2008). Physical properties of phospholipids. *Phospholipid technology and applications.*, 95-139.
- Carrero, J. (2005). Obtenido de Ácidos grasos omega 3, oleico y vitaminas. Influencia sobre los marcadores de riesgo cardiovascular en sujetos sanos, con dislipemia moderada y con enfermedad vascular periférica.: <http://digibug.ugr.es/bitstream/10481/593/1/15409430.pdf>
- Castro, M. G. (2002). Ácidos grasos omega 3: beneficios y fuentes. *Interciencia*, 128-136.
- Cervilla, N., Mufari, J., Calandri, E., & Guzmán, A. (2012). Propiedades físicas de semillas y análisis proximal de harinas de *Chenopodium quinoa* Willd. cosechadas en distintos años y provenientes de la Provincia de Salta. *II Jornadas de investigación en Ingeniería del NEA y países limítrofes* (págs. 14-15). Córdoba: Argentina.
- Chandra, R. (2007). Nutrition and the immune system . *Proceedings of the Nutrition Society*, 77-84.
- Chicco, A., D'Alessandro, M., Hein, G., & Oliva, M. (2009). Dietary chia seed (*Salvia hispanica* L.) rich in α -linolenic acid improves adiposity and normalises hypertriacylglycerolaemia and insulin resistance in dyslipaemic rats. *British Journal of Nutrition*, 41-50.
- Chipello, C. (1998). Fishing industry fades as does a way of life in newfoundland ports. *The Wall Street Journal*, 1.
- Colmenero, F. J. (2013). Emulsiones múltiples; compuestos bioactivos y alimentos funcionales. *Nutrición Hospitalaria*.
- De Luna, A. (2007). Composición y procesamiento de la soya para consumo humano. *Investigación y Ciencia*, 35-44.
- Descartes, R. (1980). *Discurso del Método*. Mexico: Espasa-Calpe Mexicana.
- Descartes, R. (1993). *Discurso del Método. Meditaciones Metafísicas. Edición de Gabriel García Morente.* . Madrid: espasa-Calpe.
- Deutch, B., Bonefeld, E., & Hansen, J. (2000). N-3 PUFA from fish- or seal oil reduce atherogenic risk indicators in Danish women. *Nutrition Research*, 1065-1077.
- Dhingra, D., Michael, M., Rajput, H., & Patil, R. (2012). Dietary fibre in foods: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 255-266.
- Di Sapio, O., Bueno, M., Busilacchi, H., & Severin, C. (2008). Chía: importante antioxidante vegetal. *Revista Agromensajes*, 11-13.
- Dupont, J. (1999). *Encyclopedia of Human Nutrition*. USA: Academic Press.
- Dyner, L., Drago, S., Piñeiro, A., Sánchez, H., González, R., Vilaamil, E., & Valencia, M. (2007). Composición y aporte potencial de hierro, calcio y zinc de panes y fideos elaborados con harinas de trigo y amaranto. *Archivos latinoamericanos de nutrición* , 69-78.

- Erasto, P., Grierson, D., & Afolayan, A. (2007). Evaluation of antioxidant activity and the fatty acid profile of the leaves of *Vernonia amygdalina* growing in South Africa. *Food Chemistry*, 636-642.
- Escott-Stump, L., & Maham, L. (2001). *Nutrición y dietoterapia de Krause*. México: McGraw-Hill Interamericana.
- Espinosa, A. (Septiembre de 2017). Propiedades fisicoquímicas y tecnofuncionales de la chía (*Salvia hispanica* L.) y de su extracto desgrasado. Elche, Alicante, España.
- Etherton, K., Shaffer, D., Yu-Poth, S., Hurt, P., Moriarty, K., Fishell, V., . . . Etherton, T. (2000). Polyunsaturated fatty acids in the food chain in the United States. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 179S-188S.
- Fernandez, I., Ayerza, R., Coates, W., Bidueiros, S., Slobodianuk, N., & Pallaro, A. (2006). Características Nutricionales de la Chía. *Comunicaciones Breves*, 23-25. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Ricardo_Ayerza/publication/315443093_Caracteristicas_nutricionales_de_la_chia/links/58cfdce1a6fdccff68e30fc4/Caracteristicas-nutricionales-de-la-chia.pdf
- Ferreti, A., & Flanagan, V. (1996). Antithromboxane activity of dietary alpha-linolenic acid: a pilot study. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, 451-455.
- Fuentes, G. (2012). *Propiedades funcionales de la harina de semilla de chía (Salvia hispanica L.) y su efecto sobre las propiedades fisicoquímicas y microscópicas en un batido cárnico*.
- GAD Cotacachi. (2014). *GAD Municipal de Santa Ana de Cotacachi*. Obtenido de Cotacachi. Municipio de Cotacachi: <http://www.cotacachi.gob.ec/>
- Gamboa, O., & Gioielli, L. (2003). Consistencia de lípidos estructurados a partir de aceite de pescado y grasa. *Grasas y Aceites*, 122-129.
- García, A. (2006). Ingesta de Nutrientes: Conceptos y Recomendaciones Internacionales. *Nutrición Hospitalaria*, 437-447.
- García, J., & Díaz, I. (27 de Noviembre de 2006). *researchgate.net*. Obtenido de Nuevas tendencias en el análisis de ácidos grasos: https://www.researchgate.net/profile/Isabel_Diaz/publication/36731164_Nuevas_tendencias_en_el_analisis_de_acidos_grasos/links/0deec5253c2f50bcf7000000.pdf
- Garda, M., Alvarez, M., Lattanzio, M., Ferraro, C., & Colombo, M. (2012). Rol de los hidrocoloides de semilla de chía y lino en la optimización de panificados libres de gluten. *Diaeta*, 31-38.
- Gobierno Municipal de Colta. (2014). *Gobierno municipal de Colta*. Obtenido de Ubicación geográfica: <http://www.municipiodecolta.gob.ec/municolta/index.php/colta/2012-10-01-19-19-46>
- Golberg, I. (23 de Noviembre de 2012). *Functional foods, pharmafoods, nutraceuticals*. Obtenido de [books.google.com](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=Yk3hBwAAQBAJ&oi=fnd): <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=Yk3hBwAAQBAJ&oi=fnd>

&pg=PR14&dq=Goldberg,+I.+(1994).+Functional+foods:+designer+foods,+pharmafoods,+nutraceuticals.+Chapman+%26+Hall,+New+York&ots=04wXgSs0z2&sig=zX7Yss9rRVZPyb1ZQ-eGDBw0Syl#v=onepage&q&f=false

- Groundy, S. (1997). What is the desirable ratio of saturated, polyunsaturated, and monounsaturated fatty acids in the diet? *The American Journal of Clinical Nutrition*, 9885-9905.
- Guiotto, E. (19 de marzo de 2014). Obtenido de Aplicación de subproductos de chía (*Salvia hispanica* L.) y girasol (*Helianthus annuus* L.) en alimentos: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/34268>
- Gutierrez, M., & Droguet, M. (2002). La cromatografía de gases y la espectrometría de masas: identificación de compuestos causantes de mal olor. *Boletín Intexter (U.P.C.)*, 35-41.
- Gutiérrez, R., Ramírez, L., Vega, S., Fontecha, J., Rodríguez, L., & 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*, 199-207.
- Hansen, J. (2000). Environmental contaminants and human health in the Arctic. *Toxicology Letters*, 119-125.
- Haros, M. (2013). La chía en Europa sigue siendo una gran desconocida y por ende sus propiedades. *Grasas y Aceites*, 384-385.
- Harris, W., Poston, C., & Haddock, K. (2007). Tissue n – 3 and n – 6 fatty acids and risk for coronary heart disease events. *Atherosclerosis*, 1-10.
- Helm, P., Bidleman, T., Stern, G., & Kokzanski, K. (2002). Polychlorinated naphthalenes and coplanar polychlorinated biphenyls in beluga whale (*Delphinapterus leucas*) and ringed seal (*Phoca hispida*) from the eastern Canadian Arctic. *Environmental Pollution*, 69-78.
- Hernandez, A. (2010). Composición y calidad nutritiva de los alimentos/Composition and Nutritional Quality of Foods. En *Tratado de nutrición/Nutrition Treatise* (pág. 113). Madrid: Editorial Médica Panamericana.
- Hernández, J., & Miranda, S. (2008). Caracterización morfológica de la chía (*Salvia hipánica* L.). *Revisa Fitotecnia Mexicana*, 105-113.
- Hidalgo, A., Brandolini, A. , & Ratti, S. (2009). Influence of Genetic and Environmental Factors on Selected Nutritional Traits of *Triticum monococcum*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42-48.
- Hunter, B., & Roberts, D. (2000). Potential impact of the fat composition of farmed fish on human health. *Nutrition Research*, 1047-1058.
- Iglesias, E., & Haros, M. (2013). Evaluation of performance of dough and bread incorporating chia (*Salvia hispanica* L.). *European Food Research and Technology*, 865-874.
- Ixtaina. (2010). *SEDICI*. Obtenido de Caracterización de la semilla y el aceite de chía (*Salvia hispanica* L.) obtenido mediante distintos procesos: aplicación en tecnología de alimentos: <http://hdl.handle.net/10915/2679>

- Ixtaina, V. Y., Martínez, M. L., Spotorno, V., Mateo, C. M., Maestri, D. M., Diehl, B. W., . . . Tomás, M. C. (2011). Characterization of chia seed oils obtained by pressing and solvent extraction. *Journal of Food Composition and Analysis*, 166-174.
- James, A., & Martin, J. (1952). Gas-liquid partition chromatography: the separation and micro-estimation of volatile fatty acids from formic acid to dodecanoic acid. *Biochemical Journal*, 679-690.
- Jeffrey, A. (1992). *Qué es la Teoría, en Alexander, J. Las Teorías Sociológicas desde la Segunda Guerra Mundial*. España: Gedinsa.
- Jennings, B., & Akoh, C. (2001). Lipase catalyzed modification of fish oil to incorporate capric acid. *Food Chemistry*, 273-278.
- Jiménez, F. (2013). Emulsiones múltiples; compuestos bioactivos y alimentos funcionales. *SciELO Analytics*, 1413-1421.
- Jiménez, P., Masson, L., & Quitral, V. (2013). Composición química de semillas de chía,. *Revista Chilena de Nutrición*, 155-160.
- Justo, M., Alfaro, A., Aguilar, E., Wrobel, K., Guzmán, G., & Zanella, V. (2017). Desarrollo de pan integral con soya, chía, linaza y ácido fólico como alimento funcional para la mujer. . *Archivos latinoamericanos de nutrición*, 78.
- Katan, M., Zock, P., & Mensink, R. (1995). Dietary oils, serum lipoproteins, and coronary heart disease. *American Journal of Clinical Nutrition*, 1368-1373.
- Kolanowski, W., & Berger, S. (2009). Possibilities of fish oil application for food products enrichment with omega-3 PUFA. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* , 39-49.
- Kuhn, T. (2010). *La Estructura de las Revolucioens Científicas*. Illinois: Fondo de Cultura Económica.
- Leal, L., & Rincón, O. (2015). El componente teórico en la Producción Científica. *Impacto Científico*, 138-157.
- Loubes, M., Calcetta, A., Tolaba, M., & Suarez, C. (2012). LWT - Food Science and Technology. *Mechanical and thermal characteristics of amaranth starch isolated by acid wet-milling procedure*, 519-524.
- Madsen, C. (1997). Prevalence of food alergyling tolerance in Europe. . *Enviromental Toxicology and Pharmacology*, 136-167.
- Maroon, J., & Bost, J. (2006). ω -3 Fatty acids (fish oil) as an anti-inflammatory: an alternative to nonsteroidal anti-inflammatory drugs for discogenic pain. *Surgical Neurology*, 326-331.
- Martinez, M., Martín, M., Salgado, C., Revol, J., Penci, M., & Ribotta, P. (2012). Chia (*Salvia hispanica* L.) oil extraction: Study of processing parameters. *LWT - Food Science and Technology*, 78-82.
- Mataix, J. (s.f.).
- MERCOSUR. (10 de Abril de 2015). *MERCOSUR/XLIII SGT N° 03/15*. Obtenido de Anexo Cromatografía. Definiciones e Interpretación de los cromatogramas:

- www.anmat.gov.ar/webanmat/mercosur/acta.../P_Res_xx_15_Cromatografia_ES.pdf
- Morales, J., Valenzuela, R., González, D., González, M., Tapia, G., Sanhueza, J., & Valenzuela, A. (2012). Nuevas fuentes dietarias de ácido alfa-linolénico: una visión crítica. *Revista Chilena de Nutrición*, 79-87.
- Motilva, M., Ramo, T., & Romero, M. (2001). Caracterización geográfica de los aceites de oliva vírgenes de la denominación. *Grasas y Aceites. International Journal of fat and oils*, 26-32.
- Muggli, R., & Clough, P. (1994). The fast of Life. *Roche Magazine*, 11.
- Nettleton, J. (1991). Omega-3 fatty acids: comparison of plant and seafood sources in human nutrition. *Journal of the American Dietetic Association*, 331-337.
- Nuñez, C. (22 de noviembre de 2008). *www.cnunez.com.ar*. Obtenido de Extracciones con Equipo Soxhlet: <http://www.cenunez.com.ar/archivos/39-ExtraccinconequipoSoxhlet.pdf>
- Olguín, L., & Rodríguez, H. (Junio de 2004). *UNAM.mx*. Obtenido de Métodos en Biotecnología: http://www.ibt.unam.mx/computo/pdfs/met/cromatografia_de_gases.pdf
- Ortiz, A., Dorantes, L., Galindez, J., & Guzmán, R. (2003). Effect of Different Extraction Methods on Fatty Acids, Volatile Compounds, and Physical and Chemical Properties of Avocado (*Persea americana* Mill.) Oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2216-2221.
- Ortuño, S. (2017). Desarrollo de pan fortificado con semilla de chía molida destinado al desayuno escolar en la industria panificadora Inpasa en Cochabamba. *Journal boliviano de ciencias*, 34.
- Osório, N., Ferreira, S., Gusmão, J., & Fonseca, M. (2001). Response surface modelling of the production of ω -3 polyunsaturated fatty acids-enriched fats by a commercial immobilized lipase. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, 677-686.
- Padrón, J. (2007). Tendencias Epistemológicas de la Investigación Científica en el Siglo XXI. *Cinta de Moebio*, 1-32.
- Pascual, C., Esteban, M., & Crespo, J. (1992). Fish allergy: evaluation of the importance of cross reactivity. *Journal of Pediatrics*, 34.
- Peiretti, P., & Gai, F. (2009). Fatty acid and nutritive quality of chia (*Salvia hispanica* L.) seeds and plant during growth. *Animal Feed Science and Technology*, 67-275.
- Peiretti, P., & Gai, F. (2009). Fatty acid and nutritive quality of chia (*Salvia hispanica* L.) seeds and plant during growth. *Animal Feed Science and Technology*, 267-575.
- Peretti, A. (1994). *Manual para análisis de semillas*. Buenos Aires: Hesmiferio Sur. 1ra. Ed. Bs. As.


- Popper, K. (1957). *The Logic of Scientific Discovery*. New York: Basic Books, Inc. .
- Popper, K. (1972). *Objective Knowledge: an Evolutionary Approach*. Oxford: Clarendon Press.
- Popper, K. (1982). *Conocimiento objetivo*. Madrid: Tecnos.
- Quintana, J., & Valencia, J. (2015). Caracterización del aceite de semilla de chía (*Salvia hispánica L.*) extraído con solvente orgánico y prensado en frío. *Revista Científica Ingeniería. Ciencia, Tecnología e INnovación*, 7-14.
- Reisser, D., Gauthier, N., Pance, A., & Jeannin, J. (2003). Antitumoral Activity of Lipids a Studies in Animal Models and Cancer Patients. *Studies in Natural Products Chemistry*, 517-558.
- Reyes, M., De Palomo, P., & Bressani, R. (2004). Desarrollo de un producto de panificación apto para el adulto mayor a base de harina de trigo y harina de arroz. *Archivos latinoamericanos de nutrición.*, 314-321.
- Ruales, J., & Nair, B. (1992). Nutritional quality of the protein in quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd) seeds. *Plant Foods for Human Nutrition*, 1-11.
- Sánchez, H., González, R., Osella, C., Torres, R., & De la Torre, M. (2008). Elaboración de pan sin gluten con harinas de arroz extrudidas. *Journal of Food*, 109-116.
- Sandoval, M. R. (Noviembre de 2012). *Aislamiento y caracterización de las proteínas de reserva de chía (Salvia hispánica L.)*. Obtenido de DSpace: <http://ri.uaq.mx/handle/123456789/1048>
- Scientia. (16 de Septiembre de 2011). *Scientiablog.com*. Obtenido de Mitos y realidades de los alimentos y suplementos enriquecidos en ácidos grasos Omega-3: <https://scientiablog.com/2011/09/16/mitos-y-realidades-de-los-alimentos-y-suplementos-enriquecidos-en-acidos-grasos-omega-3/>
- Scolari, M., Luzzana, U., Stefani, L., Mentasti, T., Moretti, V., Valfre, F., . . . Hardy, R. (2000). Quantification of cholesterol oxidation products in commercial fish meals and their formation during storage. *Aquaculture Research*, 785-791.
- Simopoulos, A. P. (2000). Human Requirement for N-3 Polyunsaturated Fatty Acids. *Poultry Science*, 961-970.
- Simopoulos, A. P. (2011). Healthy Agriculture, Healthy Nutrition, Healthy People. En A. P. Simopoulos, *Healthy Agriculture, Healthy Nutrition, Healthy People* (págs. 10-21). Washington D. C.: Karger.
- Sitemap. (11 de diciembre de 2017). *info@chia-direct.com*. Obtenido de Chia-direct.com - sitemap: <http://es.chia-direct.com/sitemap.htm>
- Stambuk, J. (1970). *Manual práctico de cromatografía de gases*. Norwalk Estados Unidos: Perkin-Elmer Corporation.

- Svensson, B., Nilsson, A., Hansson, M., Rappe, C., Akesson, B., & Skerfving, S. (1991). Exposure to Dioxins and Dibenzofurans through the Consumption of Fish. *The New England Journal of Medicine*, 8-12.
- Taga, M., Miller, E., & Pratt, E. (1983). Chia seeds as a source of natural lipid antioxidants. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 928-93.
- Thomas, T., & Earl, R. (1994). *Opportunities in the nutrition and food sciences: research challenges and the next generation of investigators*. National Academic Press.
- Tlustors, C., Pratt, I., Moylan, R., Neilan, R., White, S., Fernandes, A., & Rose, M. (2004). Investigation into Levels of Dioxins, Furans and PCB's in Battery, Free Ranges, Barn and Organic Eggs. *Organohalogen Compounds*, 1901-1907.
- Tosco, G. (2004). *Actualidades Omitológicas*. Obtenido de Los beneficios de la chía en humanos y animales. Nutrientes de la semilla de chía y su relación con los requerimientos humanos diarios.: https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Tosco+2004+ch%C3%ADA&btnG=
- TUBCA. (24 de Diciembre de 2015). *Tubos Capilares S.L.* Obtenido de Tubos de acero inoxidable para cromatografía de gases: <http://www.tuboscapilares.es/aplicaciones/tubos-de-acero-inoxidable-para-cromatografia-de-gases/>
- Valenzuela, R. (12 de Julio de 2015). *Slideshare*. Obtenido de DHA: Indispensable a lo largo de todo el ciclo vital: <https://es.slideshare.net/WFPColombia/9-chile-programa-purita-mama-abogacia-implementacin-y-beneficios>
- Valenzuela, R., Tapia, G., Gonzalez, M., & Valenzuela, A. (2011). Ácidos grasos omega-3 (EPA Y DHA) y su aplicación en diversas situaciones clínicas. *Revista Chilena de Nutrición*, 356-367.
- Vargas, G. (2006). *Tratado de epistemología: fenomenología de la ciencia, la tecnología y la investigación social*. Bogotá: San Pablo.
- Vasquez, A., Rosado, G., Chel, L., & Betancur, D. (2009). Physicochemical properties of a fibrous fraction from chia (*Salvia hispanica* L.). *LWT - Food Science and Technology*, 168-173.
- Vázquez, A., Acevedo, J., Manassero, M., & Acevedo, P. (2001). Cuatro paradigmas básicos sobre la naturaleza de la ciencia. *Argumentos de Razón Técnica*, 135-176.
- Vicente, R., Rodriguez, E., Gonzalez, V., López, O., Rivera, M., & González, M. (2013). Características preliminares del aceite de semillas de *Salvia hispanica* L. cultivadas en Cuba. *Revista cubana de plantas medicinales*.
- Weber, C., Gentry, H., Kohlhepp, E., & McCrohan, P. (2010). The nutritional and chemical evaluation of Chia seeds. *Ecology of Food and Nutrition*, 119-125.


- Winkler, K., & Steinhard, H. (2001). Identification of conjugated isomers of linolenic acid and arachidonic acid in cheese. *Journal of separation Science*, 663-668.
- Zuleta, A., Binagui, M., Greco, C., Aguirre, C., De la Casa, L., Tadini, C., & Ronayne de Ferrer, P. (2012). Diseño de panes funcionales a base de harinas no tradicionales. *Revista chilena de nutrición* , 58-64.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Resultados del perfil bioquímico de la semilla proveniente de Cotacachi, 2014.



INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS
ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA
DEPARTAMENTO DE NUTRICION Y CALIDAD
LABORATORIO DE SERVICIO DE ANALISIS E INVESTIGACION EN ALIMENTOS
Panamericana Sur Km. 1, Colapaguatilla. 2660991-3007134 Fax 3007134
Cañilla postal 17-01-040



LABORATORIO DE SERVICIO DE ANALISIS E INVESTIGACION EN ALIMENTOS

NOMBRE PETICIONARIO: Ing. Eliana Villacré
Panamericana Sur km 1

DIRECCION: 23 de octubre del 2014

FECHA DE EMISION: Del 06 al 23 de octubre del 2014

FECHA DE ANALISIS:

INFORME DE ENSAYO No: 14-263

INSTITUCION: Proyecto Seguridad Alimentaria

ATENCIÓN: Sra. Sonia Anatoa

FECHA DE RECEPCION: 02 de octubre del 2014

HORA DE RECEPCION: 11:55

ANALISIS SOLICITADO: Proximal, Minerales


ANÁLISIS	HUMEDAD	CENIZAS ²⁷	E.E. ²	PROTEÍNA ¹¹	FIBRA ¹⁰	E.L.N. ⁹	IDENTIFICACIÓN
MÉTODO	MO-LSAIA-01.01	MO-LSAIA-01.02	MO-LSAIA-01.03	MO-LSAIA-01.04	MO-LSAIA-01.05	MO-LSAIA-01.06	
MÉTODO REF.	U. FLORIDA 1970	U. FLORIDA 1970	U. FLORIDA 1970	U. FLORIDA 1970	U. FLORIDA 1970	U. FLORIDA 1970	
UNIDAD	%	%	%	%	%	%	
14-1766	5,54	5,20	24,41	21,81	30,82	17,95	Chila 2400, Cotacachi 114
ANÁLISIS		Ca ²	P ²	Mg ²	K ²	Na ²	
MÉTODO		MO-LSAIA-03.01.02	MO-LSAIA-03.01.04	MO-LSAIA-03.01.02	MO-LSAIA-03.01.03	MO-LSAIA-03.01.03	
MÉTODO REF.		U. FLORIDA 1980	U. FLORIDA 1980	U. FLORIDA 1980	U. FLORIDA 1980	U. FLORIDA 1980	
UNIDAD		%	%	%	%	%	
14-1766		0,32	*	0,55	0,78	0,02	
ANÁLISIS		Cu ²	Fe ²	Mn ²	Zn ²		
MÉTODO		MO-LSAIA-02.02	MO-LSAIA-03.02	MO-LSAIA-03.02	MO-LSAIA-03.02		
MÉTODO REF.		U. FLORIDA 1980	U. FLORIDA 1980	U. FLORIDA 1980	U. FLORIDA 1980		
UNIDAD		ppm	ppm	ppm	ppm		
14-1766		11	173	40	57		


Los ensayos marcados con D se reportan en base seca.

OBSERVACIONES: Muestra entregada por el cliente

Los datos de Fósforo serán entregados posteriormente.

RESPONSABLES DEL INFORME


DR. Armando Rubio
RESPONSABLE DE CALIDAD



M. Edgar Samaniego, MSc.
RESPONSABLE TÉCNICO

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.

Los resultados arriba indicados solo están relacionados con el objeto de ensayo


NOTA DE DESCARGO: La información contenida en este informe de ensayo es de carácter confidencial, está dirigida únicamente al destinatario de la misma y solo podrá ser usada por este. Si el lector de este correo electrónico o lee no es el destinatario del mismo, se le notifica que cualquier copia o distribución de esta se encuentran totalmente prohibidos. Si usted ha recibido este informe de ensayo por error, por favor notifique inmediatamente al remitente por este mismo medio y elimine la información.

Anexo 2. Resultados del perfil bioquímico de la semilla proveniente de Colta, 2015.



INiAP

ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALIN,
DEPARTAMENTO DE NUTRICION Y CALIDAD
LABORATORIO DE SERVICIO DE ANALISIS E INVESTIGACION EN ALIMENTOS
Panamericana Sur Km. 3, Cutuglagua Tlra. 2690691-3007134, Fax 3007134
Casilla postal 17-01-340




INFORME DE ENSAYO No: 15-099


NOMBRE PETICIONARIO: Srta. Diana Sotomayor
DIRECCION: Panamericana Norte Km 3 1/2
FECHA DE EMISION: 28/04/2015
FECHA DE ANALISIS: Del 13 al 23 de abril de 2015


INSTITUCION: Srta. Diana Sotomayor
ATENCION: 10/04/2015
HORA DE RECEPCION: 08H14
ANALISIS SOLICITADO: Proximal

ANALISIS	HUMEDAD	CENIZAS ^U	E.E. ^U	PROTEINA ^U	FIBRA ^U	E.L.N. ^U	IDENTIFICACION
METODO	MO-LSAIA-01.01	MO-LSAIA-01.02	MO-LSAIA-01.03	MO-LSAIA-01.04	MO-LSAIA-01.05	MO-LSAIA-01.06	
METODO REF.	U. FLORIDA 1970	U. FLORIDA 1970	U. FLORIDA 1970	U. FLORIDA 1970	U. FLORIDA 1970	U. FLORIDA 1970	
UNIDAD	%	%	%	%	%	%	
15-04-35	5,86	4,70	31,48	24,64	19,48	19,69	Muestra de chia

Los ensayos marcados con **Q** se reportan en base seca.
OBSERVACIONES: Muestra entregada por el cliente


Dr. Armando Rubio
RESPONSABLE DE CALIDAD


Dr. Ivan Samanlego, MSc.
RESPONSABLE TECNICO


LABORATORIO DE ANALISIS DE ALIMENTOS S.A.S.


RESPONSABLES DEL INFORME

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
 Los resultados arriba indicados solo están relacionados con el objeto de ensayo
NOTA DE DESCARGO: La información contenida en este informe de ensayo es de carácter confidencial, está dirigida únicamente al destinatario de la misma y solo podrá ser usada por este. Si el correo electrónico o fax no es el destinatario del mismo, se le notifica que cualquier copia o distribución de este se encuentra totalmente prohibido. Si usted ha recibido este informe de ensayo por error, notifique inmediatamente al remitente por este mismo medio y elimine la información.


Página 1 de 1

Anexo 3. Resultados del perfil bioquímico de la semilla de chíca proveniente de las localidades de Cotacachi, Colta y la semilla Testigo, 2017.

MC-LSAIA-2201-04



INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS
ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA
DEPARTAMENTO DE NUTRICION Y CALIDAD
LABORATORIO DE SERVICIO DE ANALISIS E INVESTIGACION EN ALIMENTOS
 Panamericana Sur Km. 1, Cutigagua Tlis, 2690691-3007134, Fax 3007134
 Casilla postal 17-01-340



NOMBRE PETICIONARIO: Srta. Nicole Ruiz
DIRECCION: El Condado
FECHA DE EMISION: 11/04/2017
FECHA DE ANALISIS: Del 13 de marzo al 10 de abril de 2017

INFORME DE ENSAYO No: 17-050
INSTITUCION: Srta. Nicole Ruiz
ATENCION: 13/03/2017
FECHA DE RECEPCION: 09H20
HORA DE RECEPCION: Grasa, Proteína, minerales
ANALISIS SOLICITADO

ANÁLISIS	HUMEDAD	E.E. ^u	PROTEÍNA ^u	Ca ^d	P ^o	Mg ^o	IDENTIFICACIÓN
MÉTODO	MO-LSAIA-01.01	MO-LSAIA-01.03	MO-LSAIA-01.04	MO-LSAIA-03.01.02	MO-LSAIA-03.01.04	MO-LSAIA-03.01.02	
MÉTODO REF.	U. FLORIDA 1970	U. FLORIDA 1970	U. FLORIDA 1970	U. FLORIDA 1980	U. FLORIDA 1980	U. FLORIDA 1980	
UNIDAD	%	%	%	%	%	%	
17-0376	7.42	37.31	23.74	0.67	0.84	0.38	Chica Colta Muestra 1
17-0377	6.54	36.03	23.56	0.53	0.89	0.35	Chica Colta Muestra 2
17-0378	7.19	35.66	25.25	0.54	0.94	0.34	Chica Colta Muestra 3
17-0379	6.86	35.18	21.19	0.64	0.79	0.27	Chica Cotacachi Muestra 1
17-0380	6.74	35.70	21.37	0.65	0.75	0.30	Chica Cotacachi Muestra 2
17-0381	6.91	36.53	21.25	0.57	0.74	0.28	Chica Cotacachi Muestra 3
17-0382	6.51	36.32	22.53	0.54	0.87	0.34	Chica Testigo Muestra 1
17-0383	6.03	36.21	21.95	0.56	0.84	0.35	Chica Testigo Muestra 2
17-0384	6.08	35.86	22.43	0.59	0.86	0.36	Chica Testigo Muestra 3
ANÁLISIS	K ^o	Na ^o	Cu ^p	Fe ^o	Mn ^p	Zn ^p	
MÉTODO	MO-LSAIA-03.01.03	MO-LSAIA-03.01.03	MO-LSAIA-03.02	MO-LSAIA-03.02	MO-LSAIA-03.02	MO-LSAIA-03.02	
MÉTODO REF.	U. FLORIDA 1980	U. FLORIDA 1980	U. FLORIDA 1980	U. FLORIDA 1980	U. FLORIDA 1980	U. FLORIDA 1980	
UNIDAD	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	
17-0376	0.60	19	22	61	33	59	Chica Colta Muestra 1
17-0377	0.68	19	20	92	31	55	Chica Colta Muestra 2
17-0378	0.66	24	18	64	29	54	Chica Colta Muestra 3
17-0379	0.59	31	17	116	42	52	Chica Cotacachi Muestra 1
17-0380	0.68	22	16	94	40	62	Chica Cotacachi Muestra 2
17-0381	0.55	31	16	69	41	50	Chica Cotacachi Muestra 3
17-0382	0.74	37	23	83	65	75	Chica Testigo Muestra 1
17-0383	0.73	25	23	76	63	60	Chica Testigo Muestra 2
17-0384	0.74	21	21	76	64	80	Chica Testigo Muestra 3

Los ensayos marcados con Ω se reportan en base seca.
 OBSERVACIONES: Muestra entregada por el cliente

RESPONSABLES DEL INFORME

ININAP



LSAIA

D.N.C.

Dr. Ivan Samaniego, MSc.
RESPONSABLE TÉCNICO

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
 Los resultados arriba indicados solo están relacionados con el objeto de ensayo
 NOTA DE DESCARGO: La información contenida en este informe de ensayo es de carácter confidencial, está dirigida únicamente al destinatario de la misma y solo podrá ser usada por este. Si el lector de este correo electrónico no es el destinatario de este correo, se encuentra totalmente prohibido. Si usted ha recibido este informe de ensayo por error, por favor notifique al emisor de este correo electrónico.

Anexo 4. Resultados de humedad y cenizas de la semilla de chíca proveniente de Cotacachi, Colta y la muestra Testigo, 2017.

INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS
ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA
DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN Y CALIDAD
LABORATORIO DE SERVICIO DE ANÁLISIS E INVESTIGACIÓN EN ALIMENTOS
 Panamericana Sur Km. 1. Cutuguiaguati, 2690691-3007134. Fax 3007134
 Casilla postal 17-01-340

INFORME DE ENSAYO No: 17-050

NOMBRE PETICIONARIO: Srta. Nicole Ruiz
DIRECCIÓN: El Condado
FECHA DE EMISIÓN: 26/04/2017
FECHA DE ANÁLISIS: Del 14 de marzo al 26 de abril de 2017

INSTITUCIÓN: Particular
ATENCIÓN: Srta. Nicole Ruiz
FECHA DE RECEPCIÓN: 13/03/2017
HORA DE RECEPCIÓN: 09H20
ANÁLISIS SOLICITADO: Proximal

ANÁLISIS	HUMEDAD	CENIZAS ¹	IDENTIFICACIÓN
METODO	MO-LSAIA-01.01	MO-LSAIA-01.02	
METODO REF.	U. FLORIDA 1970	U. FLORIDA 1970	
UNIDAD	%	%	
17-0376	7.42	5.05	Chica Colta Muestra 1
17-0377	6.54	4.84	Chica Colta Muestra 2
17-0378	7.19	4.97	Chica Colta Muestra 3
17-0379	6.86	5.27	Chica Cotacachi Muestra 1
17-0380	6.74	3.52	Chica Cotacachi Muestra 2
17-0381	6.91	5.19	Chica Cotacachi Muestra 3
17-0382	6.51	5.15	Chica Testigo Muestra 1
17-0383	6.03	5.08	Chica Testigo Muestra 2
17-0384	6.08	4.60	Chica Testigo Muestra 3

Los ensayos marcados con Ω se reportan en base seca.
 OBSERVACIONES: Muestra entregada por el cliente

RESPONSABLES DEL INFORME

Dr. Ivan Salamanca, MSc.
RESPONSABLE TÉCNICO
D.N.C.
E.E. SANTA CATALINA

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
 Los resultados arriba indicados solo están relacionados con el objeto de ensayo.
 NOTA DE DESCARGO: La información contenida en este informe de ensayo es de carácter confidencial, está dirigida únicamente al destinatario de la misma y solo podrá ser usada por este. Si el lector de este correo electrónico o fax no es el destinatario del mismo, se le notifica que cualquier copia o distribución de este se encuentra totalmente prohibido. Si usted ha recibido este informe de ensayo por error, por favor notifique inmediatamente al remitente por este mismo medio y elimine la información.

Anexo 5. Resultados del perfil de ácidos grasos presentes en la semilla de chía provenientes de Cotacachi, Colta y la muestra Testigo, 2017.

MC-LSAIA-2201-04



DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN Y CALIDAD
LABORATORIO DE SERVICIOS DE ANALISIS E INVESTIGACIÓN EN ALIMENTOS
 Panamericana Sur km 1 de Quito, Cutuglaghua . Tífs. 3007134
 Casilla Postal 17-01-340



INFORME DE ENSAYO 17-050

NOMBRE PETICIONARIO: Srta. Nicole Ruiz
DIRECCIÓN: El Condado
FECHA DE EMISIÓN: 11-04-17
FECHA DE ANALISIS: Del 13 de marzo al 10 de abril de 2017

INSTITUCION: Particular
ATENCIÓN: Srta. Nicole Ruiz
FECHA DE RECEPCIÓN: 13-03-17
HORA DE RECEPCIÓN: 09H:20
ANÁLISIS SOLICITADO: Acidos grasos

NOMBRE	SÍMBOLO	UNIDAD	MÉTODO REF.	17-0376		17-0377		17-0378		17-0379		17-0380		17-0381		17-0382		17-0383		17-0384	
				01	02	01	02	01	02	01	02	01	02	01	02	01	02	01	02	01	02
Acido mirístico	c14	%	AOAC 963.22	0.05	0.05	0.06	0.05	0.04	0.05	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04	0.04	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
Acido pentadecanoico	c15:0	%	AOAC 963.22	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Acido palmítico	c16:0	%	AOAC 963.22	8.02	8.04	7.77	7.87	7.23	6.97	6.98	7.10	6.97	7.33	6.97	6.95	8.26	8.20	8.13	8.20	8.34	8.07
Acido palmíticooleico	c16:1	%	AOAC 963.22	0.23	0.23	0.23	0.24	0.23	0.22	0.21	0.22	0.22	0.23	0.22	0.21	0.27	0.28	0.27	0.27	0.28	0.27
Acido heptadecanoico	c17:0	%	AOAC 963.22	0.06	0.06	0.05	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
Acido esteárico	c18:0	%	AOAC 963.22	4.27	4.22	3.76	3.97	3.05	3.00	3.09	3.15	3.21	3.09	3.10	3.82	3.65	3.73	3.84	3.65	3.80	3.80
Acido eláidico	c18:1n9t	%	AOAC 963.22	6.24	6.17	5.79	6.05	5.43	5.36	5.69	5.71	5.47	5.60	5.70	5.70	5.89	5.86	5.75	5.89	5.72	5.89
Acido oleico	c18:1n9c	%	AOAC 963.22	0.04	0.06	0.04	0.04	0.05	0.04	0.05	0.07	0.05	0.04	0.04	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Acido linoleídico	c18:2n6t	%	AOAC 963.22	17.79	17.98	17.40	17.94	16.76	16.48	15.77	15.86	16.53	16.91	15.94	17.28	17.34	16.95	17.26	16.99	17.38	17.38
Acido linoleico	c18:2n6c	%	AOAC 963.22	0.29	0.29	0.26	0.27	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.23	0.24	0.30	0.30	0.30	0.31	0.28	0.31
Acido araquídico	c20:0	%	AOAC 963.22	0.24	0.24	0.27	0.25	0.25	0.24	0.24	0.24	0.26	0.24	0.24	0.24	0.29	0.30	0.28	0.28	0.28	0.29
Acido γ -linoléico	c18:3n6	%	AOAC 963.22	0.10	0.10	0.10	0.09	0.13	0.09	0.15	0.10	0.09	0.08	0.09	0.09	0.14	0.14	0.13	0.12	0.14	0.14
Acido linoléico	c18:3n3	%	AOAC 963.22	61.64	61.54	63.24	62.12	65.51	66.24	66.45	66.28	65.85	64.94	66.41	66.38	62.48	62.65	63.20	62.50	63.05	62.50
Acido cis-11:14-eicosadienoico	c20:2	%	AOAC 963.22	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05
Acidobehénico	c22:0	%	AOAC 963.22	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.10	0.09	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09	0.11	0.09	0.11
Acido erucico	c22:1n9	%	AOAC 963.22	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03
Acido cis-11,14,17-eicosatrienoico	c20:3n3	%	AOAC 963.22	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.05
Acido tricosenoico	c23:0	%	AOAC 963.22	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04
Acido mellico-5,8,11,14-eicosatetraenoico	c20:4n6	%	AOAC 963.22	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Acido cis-13,16-docosadienoico	c22:2	%	AOAC 963.22	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
Acido nervónico	c24:1	%	AOAC 963.22	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02

Los ensayos marcados con Q se reportan en base seca.
OBSERVACIONES: Muestras entregadas por el cliente

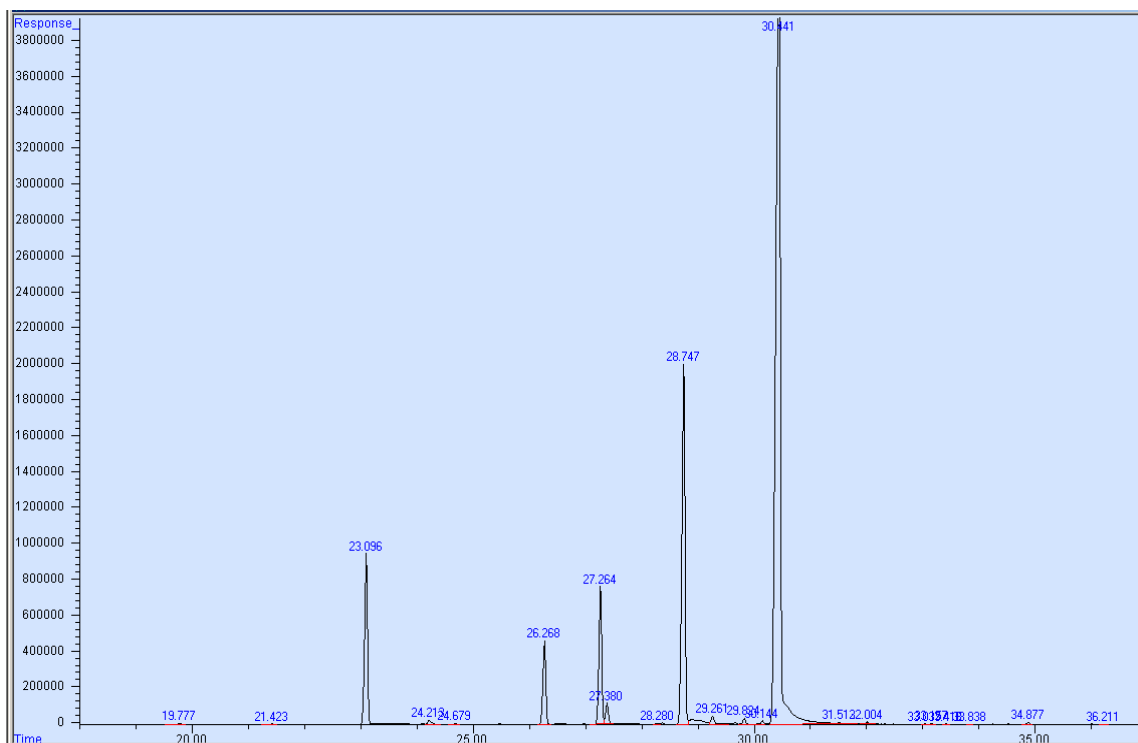
Responsable del Informe

 Dr. Iván Sampadego-Morán
 Responsable Técnico

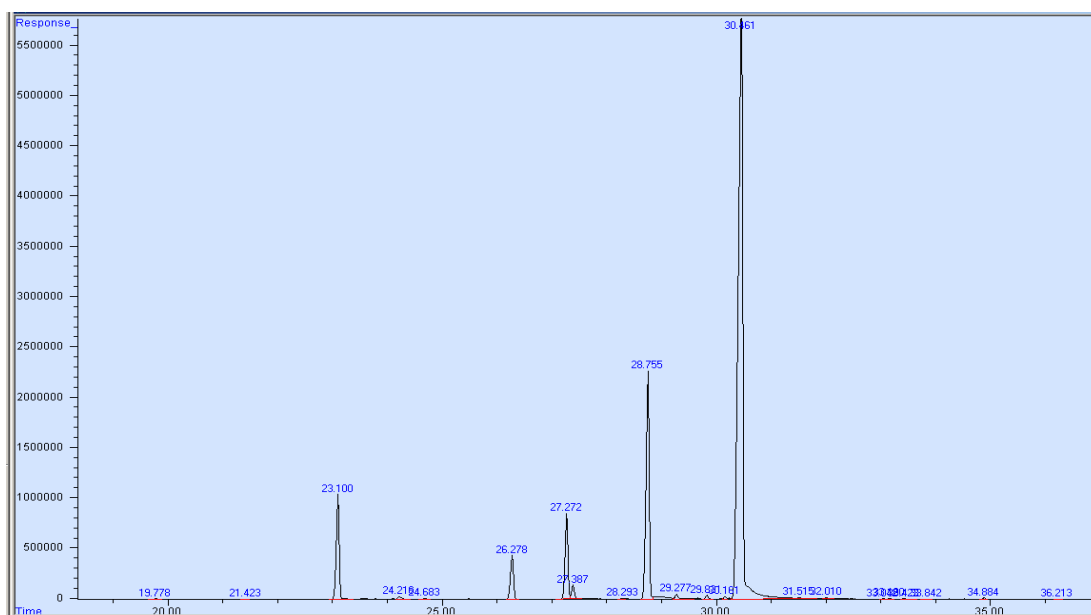
Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
 Los resultados arriba indicados solo están relacionados con el objeto de ensayo

NOTA DE DESCARGO: La información contenida en este informe de ensayo es de carácter confidencial, está dirigida únicamente al destinatario de la misma y solo podrá ser usada por este destinatario. Si usted ha recibido este informe de ensayo por error, por favor notifique inmediatamente al remitente por este mismo medio y elimine la información.

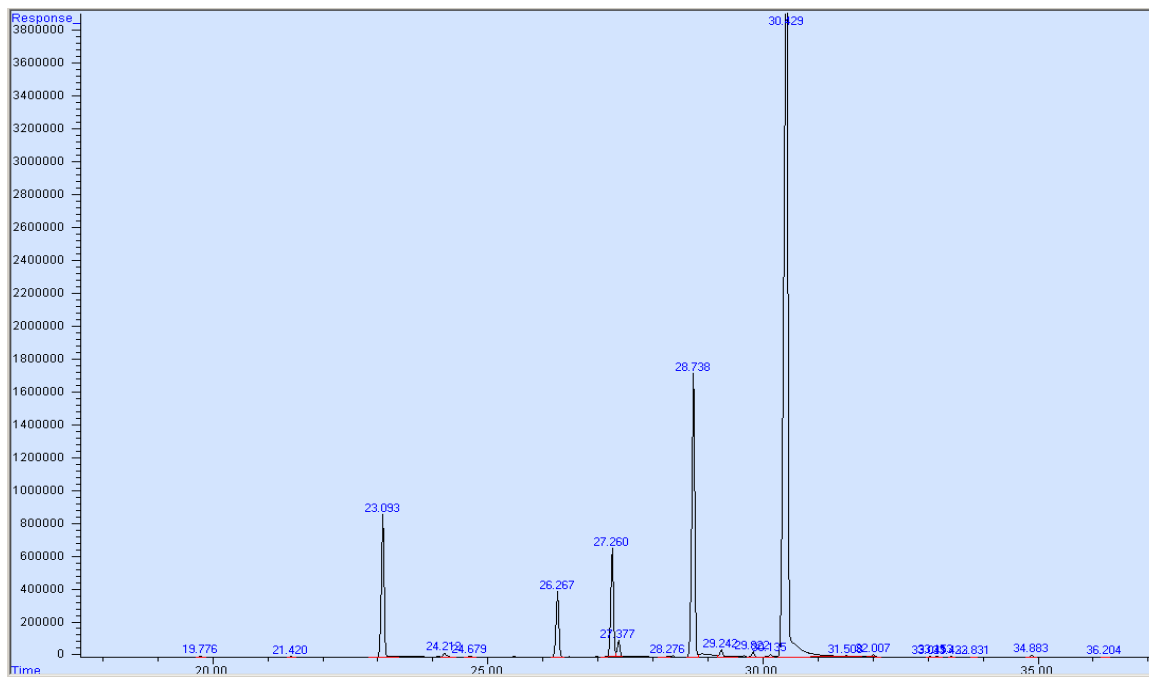
Anexo 6. Cromatograma del perfil de ácidos grasos de la semilla de chía provenientes de Colta, 2017.



Anexo 7. Cromatograma del perfil de ácidos grasos de la semilla de chía provenientes de Cotacachi, 2017.



Anexo 8. Cromatograma del perfil de ácidos grasos de la muestra de chía de la semilla Testigo, 2017.



Anexo 9. Secuencia de comandos utilizados para el análisis estadístico en el programa Infostat/L.

- Colocación de datos a procesar en una nueva Tabla del paquete estadístico.
- Selección del comando “Estadísticas”
- Selección de “Análisis de varianza”
- Introducción de las variables dependientes
- Introducción de las variables independientes
- Elegir “Aceptar”
- Ir a comparaciones
- Selección “Prueba de Tukey”
- Selección de comparaciones por “Tratamientos”
- Selección de arreglo de datos según interés
- Elección de diseño de “Gráficas”
- Elegir “Aceptar”

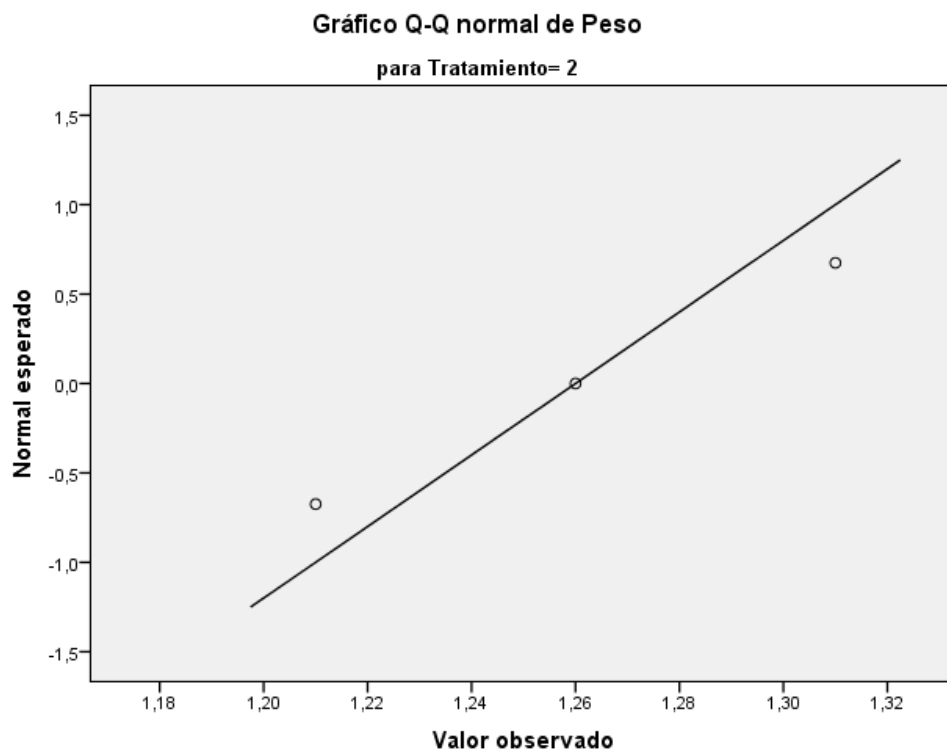
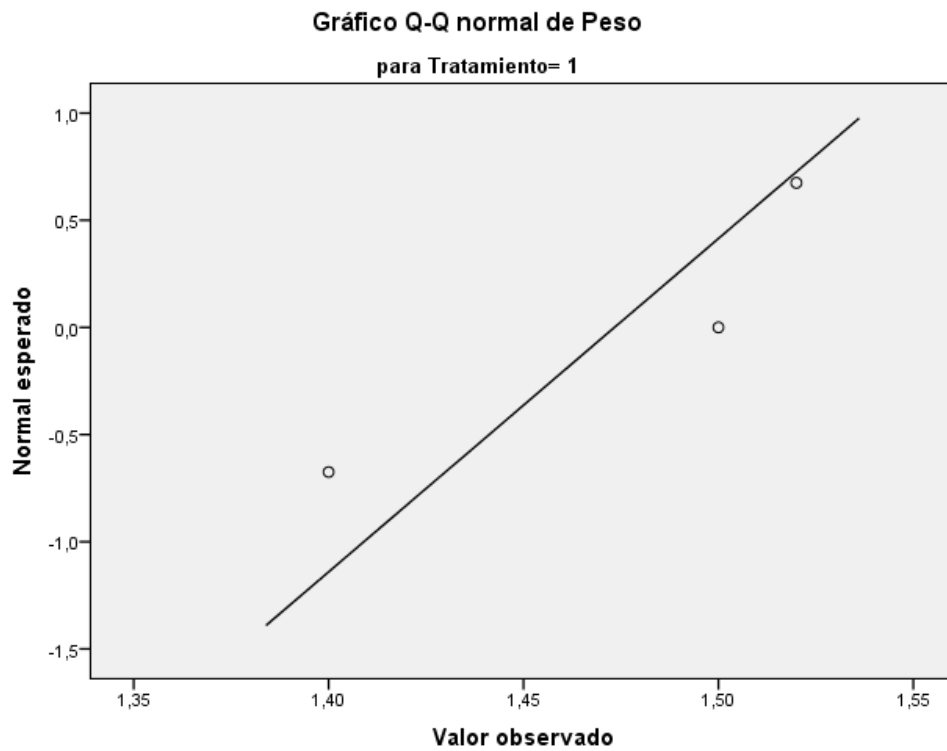
Anexo 10. Pruebas de Normalidad para verificación de ANOVA de las variables en estudio.

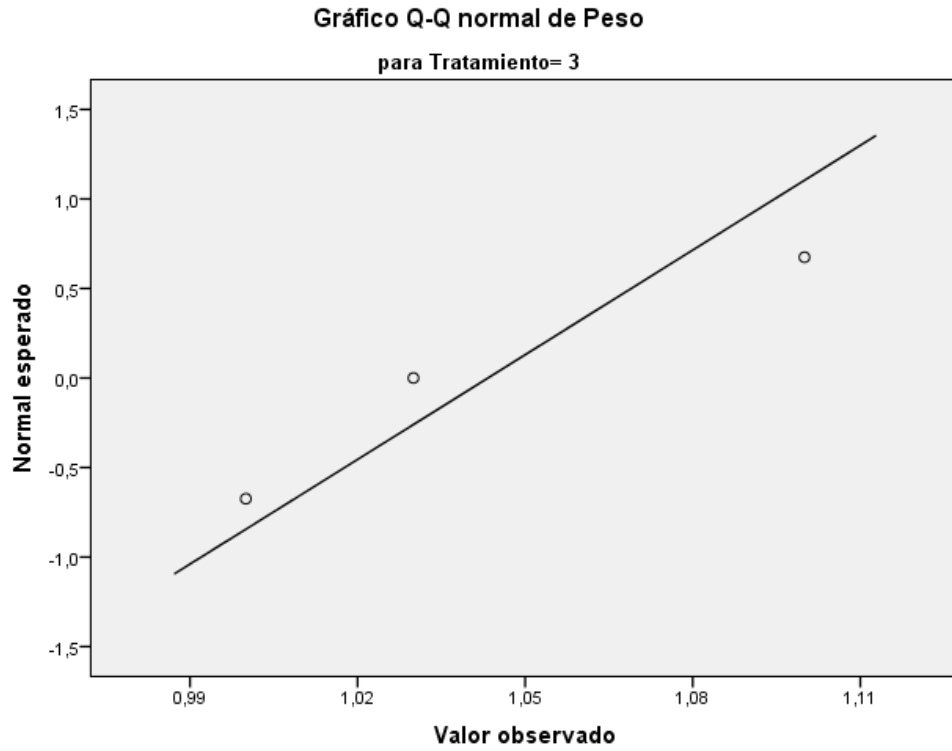
Variable	Tratamiento	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Peso	1	0,328	3	.	0,871	3	0,298
	2	0,175	3	.	1,000	3	1,000
	3	0,269	3	.	0,949	3	0,567
Humedad	1	0,287	3	.	0,929	3	0,486
	2	0,272	3	.	0,947	3	0,554
	3	0,351	3	.	0,827	3	0,181
Grasa	1	0,304	3	.	0,908	3	0,411
	2	0,227	3	.	0,983	3	0,748
	3	0,297	3	.	0,917	3	0,441
Proteína	1	0,350	3	.	0,829	3	0,185
	2	0,253	3	.	0,964	3	0,637
	3	0,325	3	.	0,875	3	0,309
Cenizas	1	0,229	3	.	0,981	3	0,739

Anexo 11. Pruebas de Normalidad para verificación de ANOVA para el ácido linolénico (omega-3).

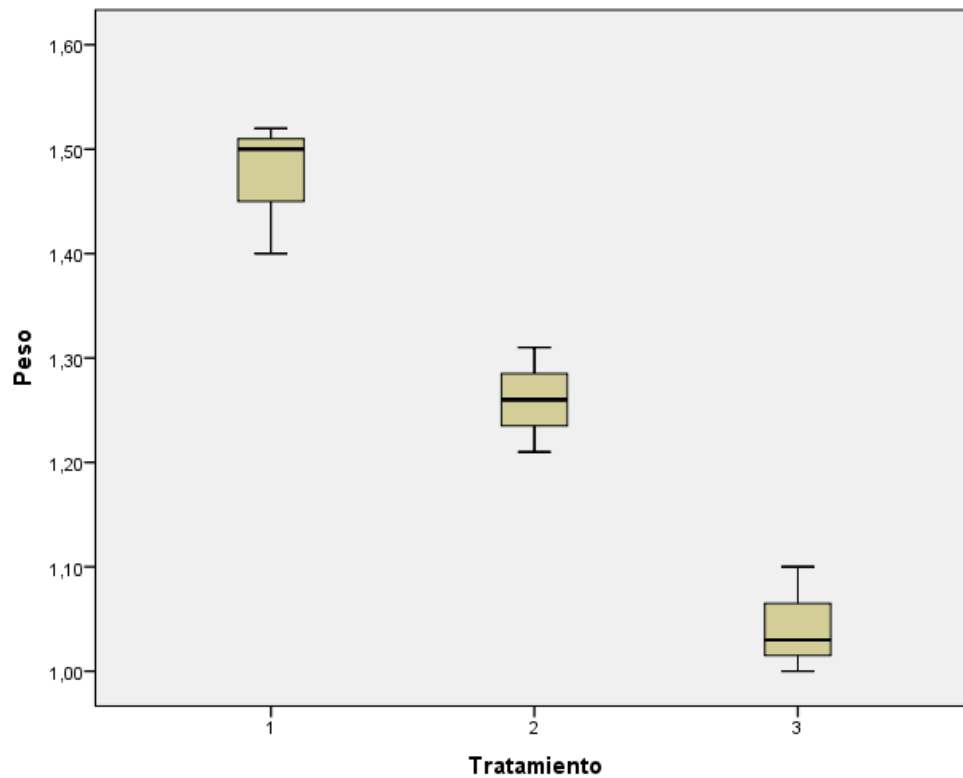
Variable	Tratam.	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Ác. Linolénico (omega-3)	1	0,232	6	0,200	0,854	6	0,168
	2	0,309	6	0,076	0,805	6	0,064
	3	0,267	6	0,200	0,798	6	0,057

Anexo 12. Gráfico de Normalidad para la variable Peso de la semilla de chía de los tres orígenes.

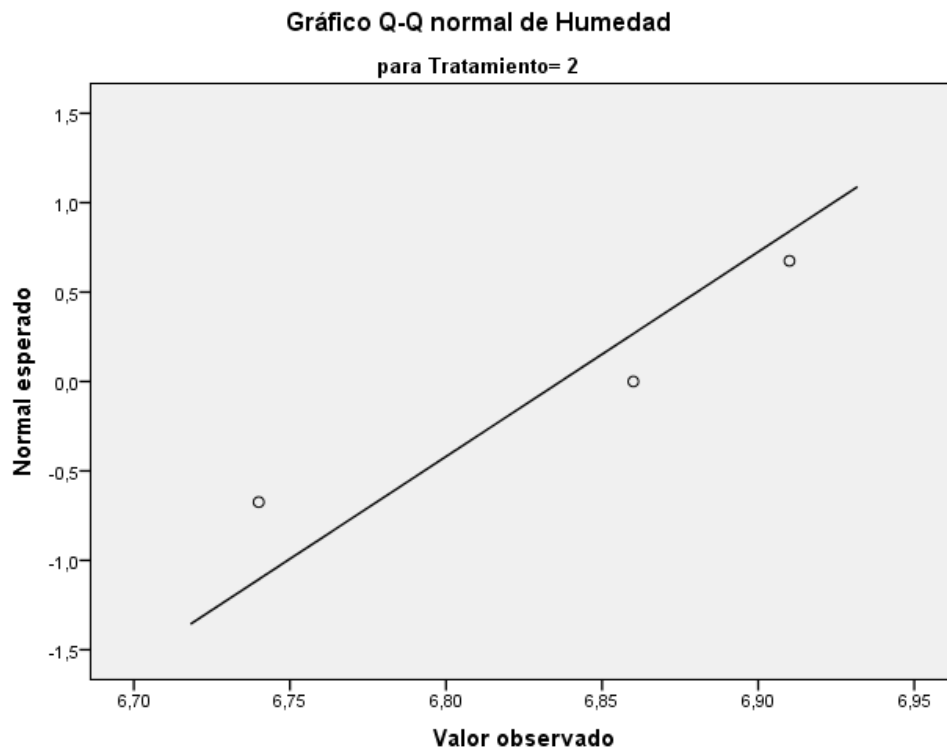
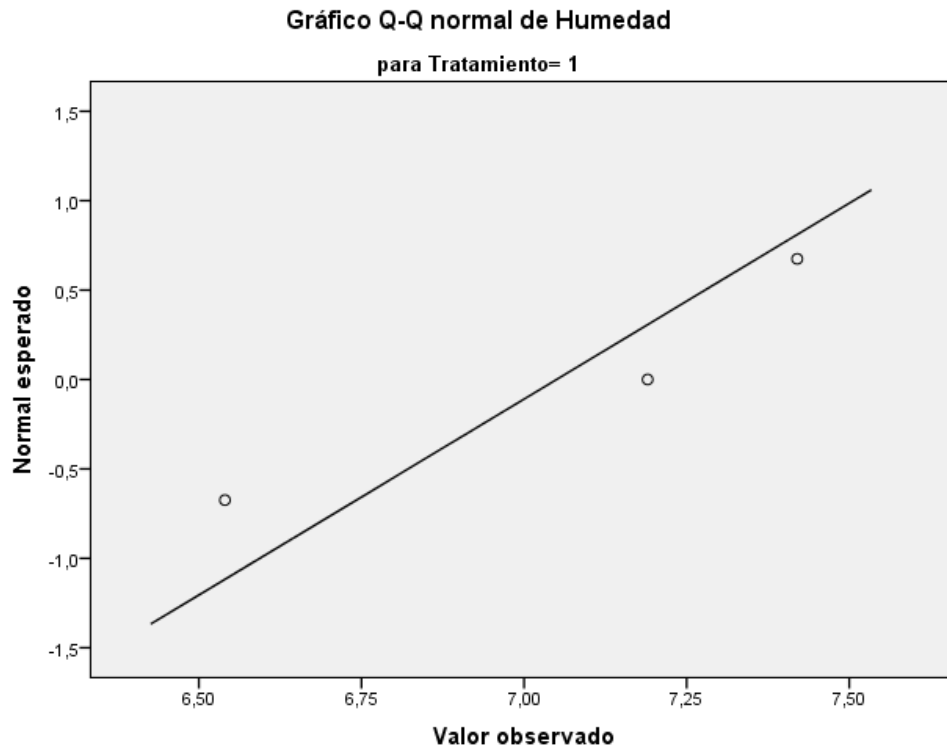


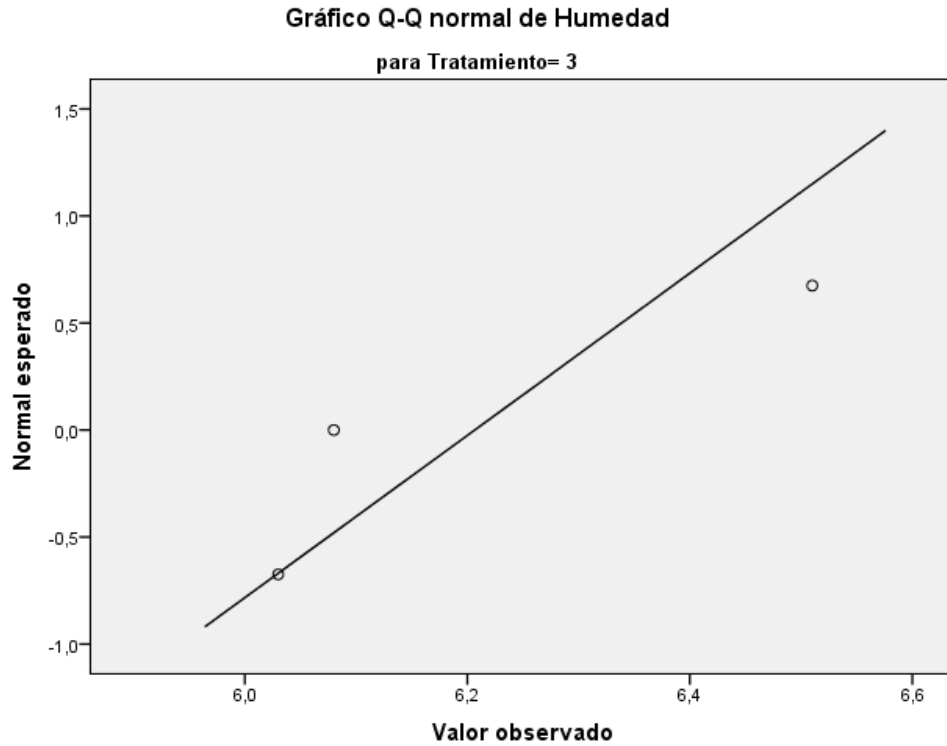


Anexo 13. Gráfico de cajas para la variable Peso de la semilla de chí de los tres orígenes.

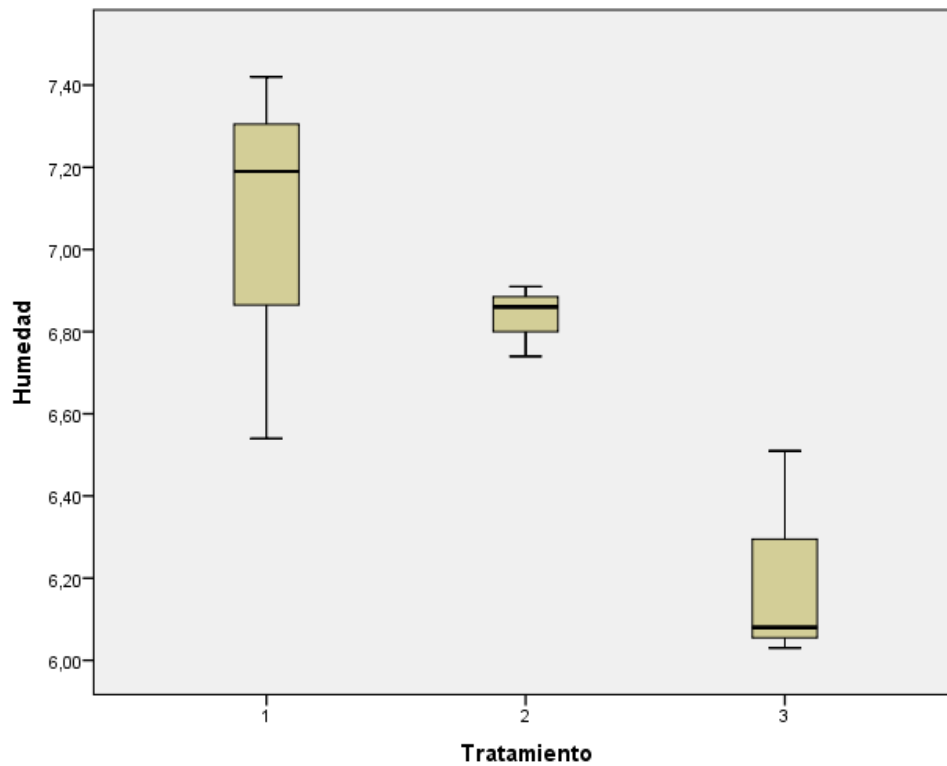


Anexo 14. Gráfico de Normalidad para la variable Humedad de la semilla de chía de los tres orígenes.

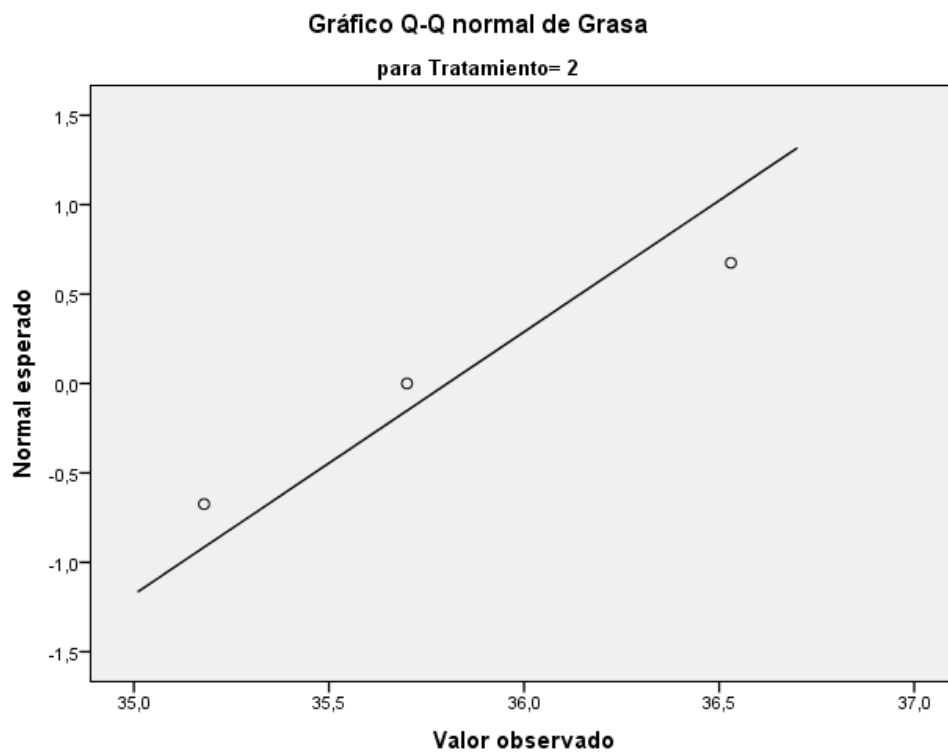
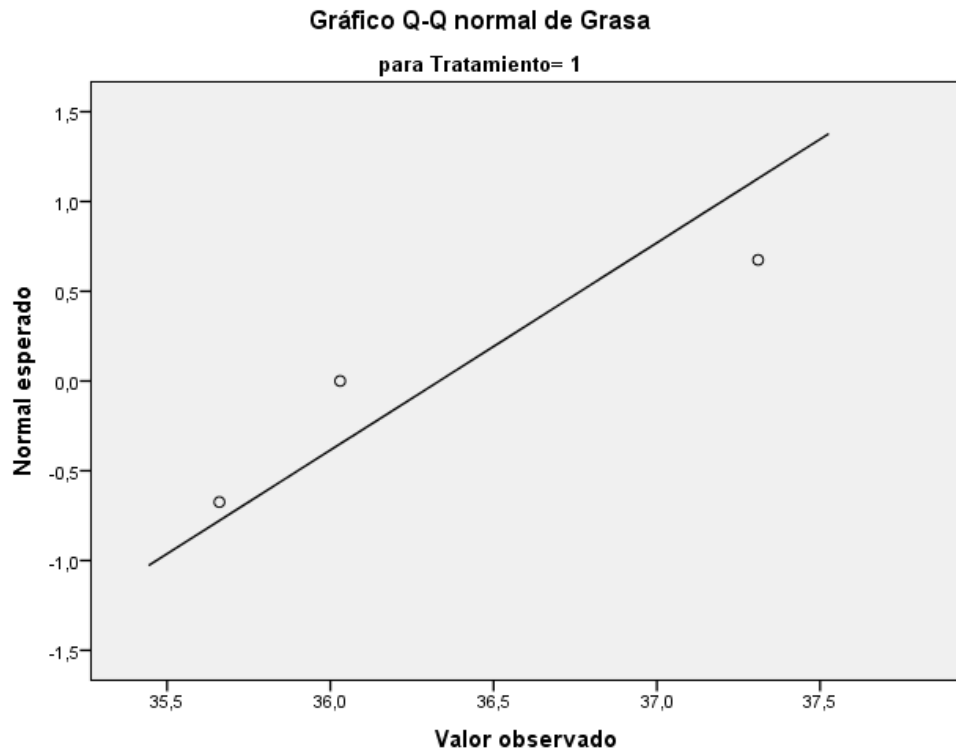


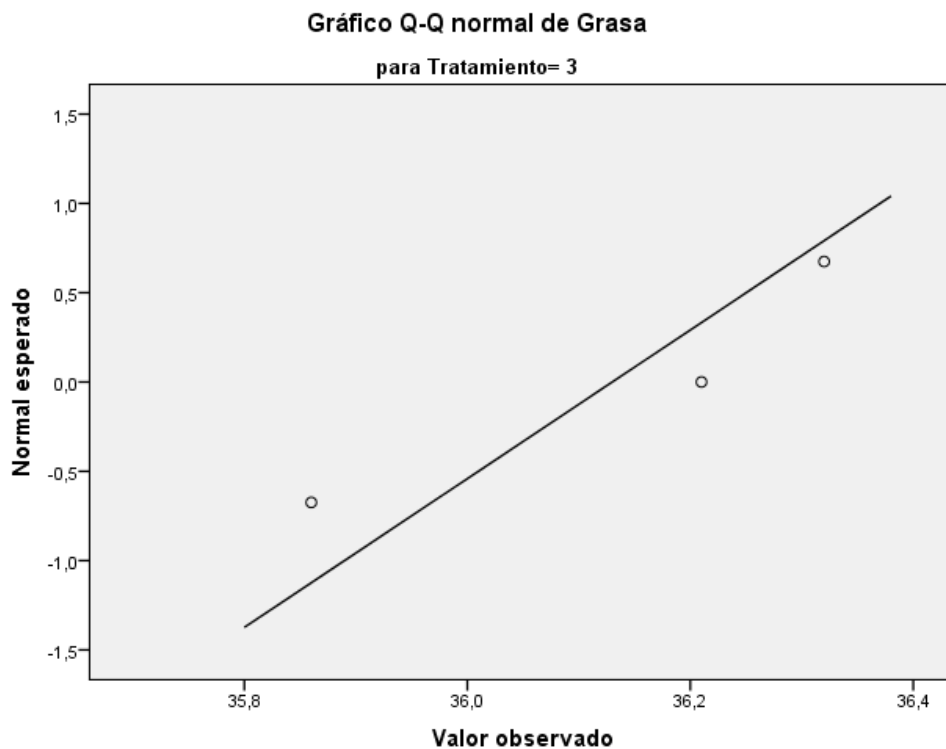


Anexo 15. Gráfico de cajas para la variable Humedad de la semilla de chíá de los tres orígenes.

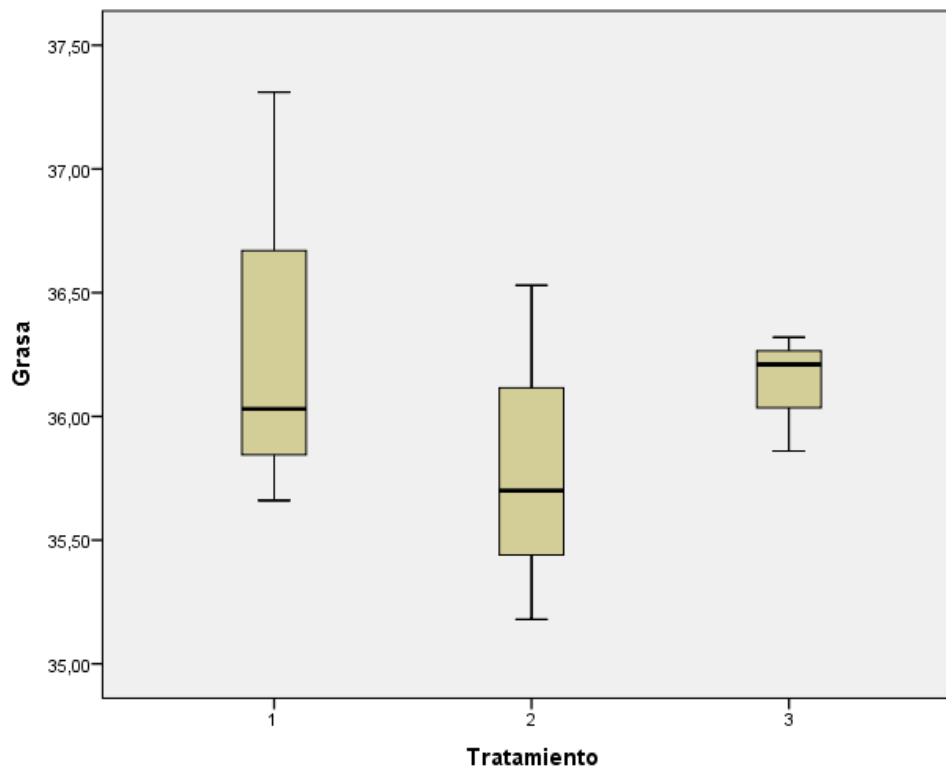


Anexo 16. Gráfico de Normalidad para la variable Grasa de la semilla de chía de los tres orígenes.

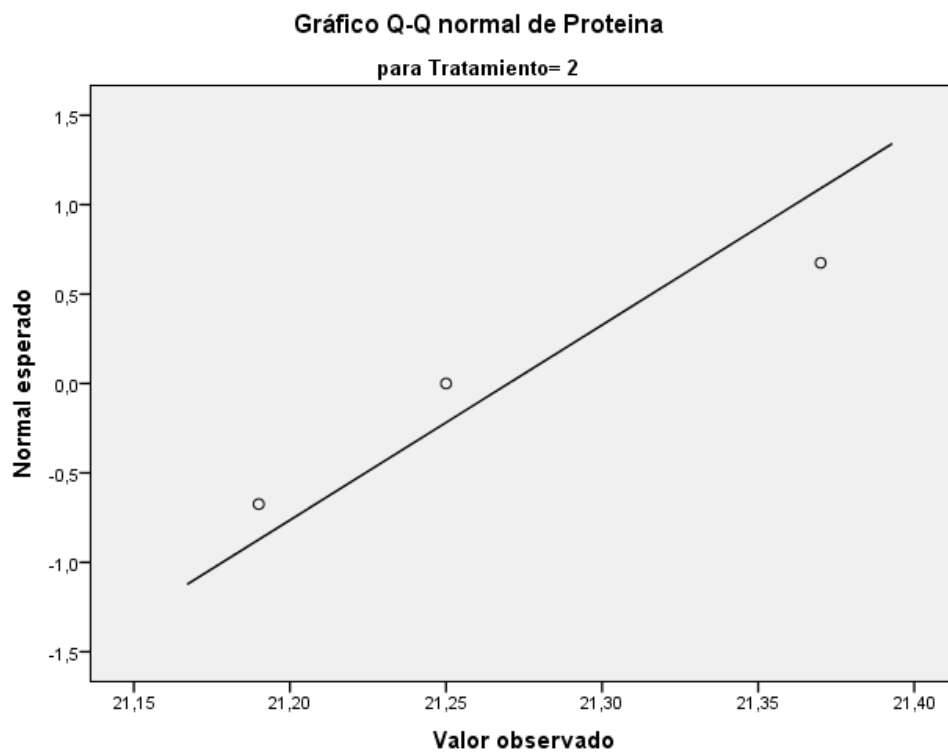
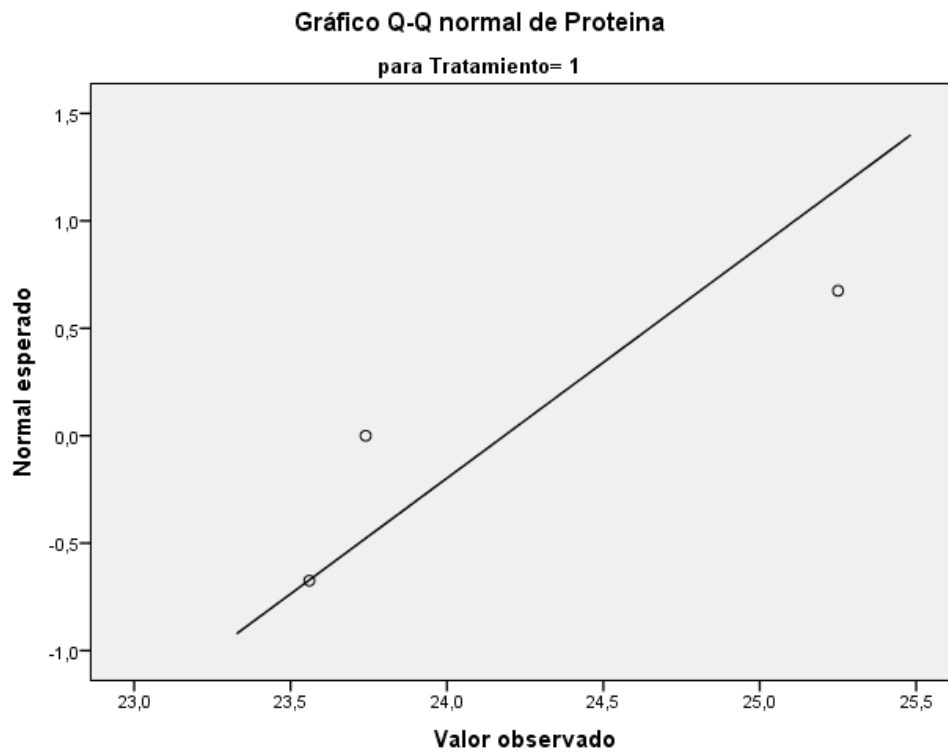


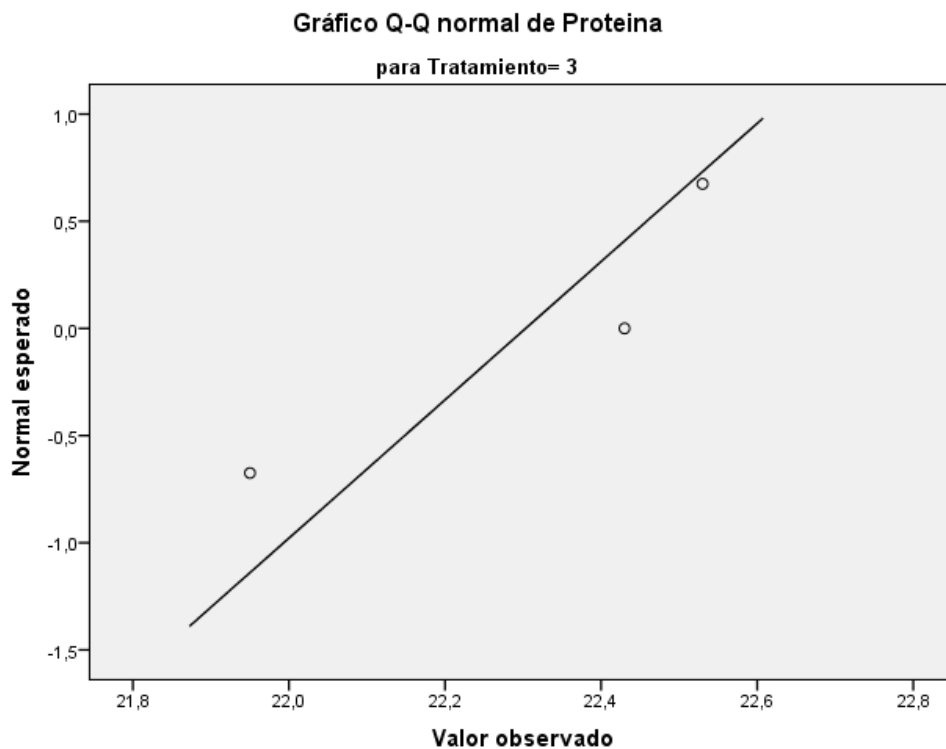


Anexo 17. Gráfico de cajas para la variable Grasa de la semilla de chía de los tres orígenes.

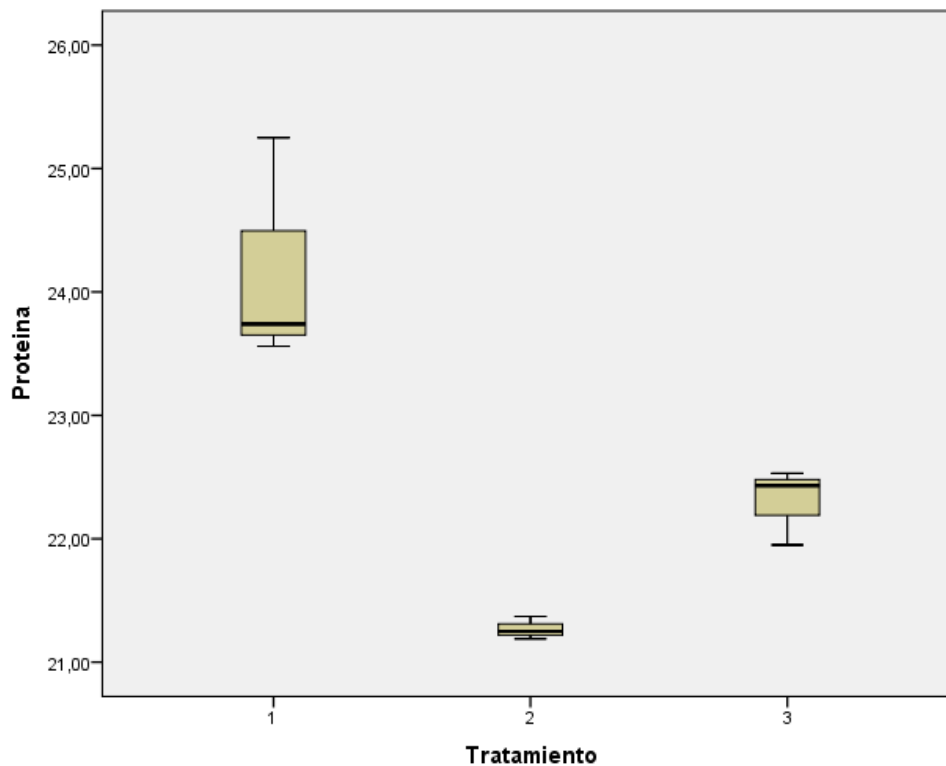


Anexo 18. Gráfico de Normalidad para la variable Proteína de la semilla de chía de los tres orígenes.

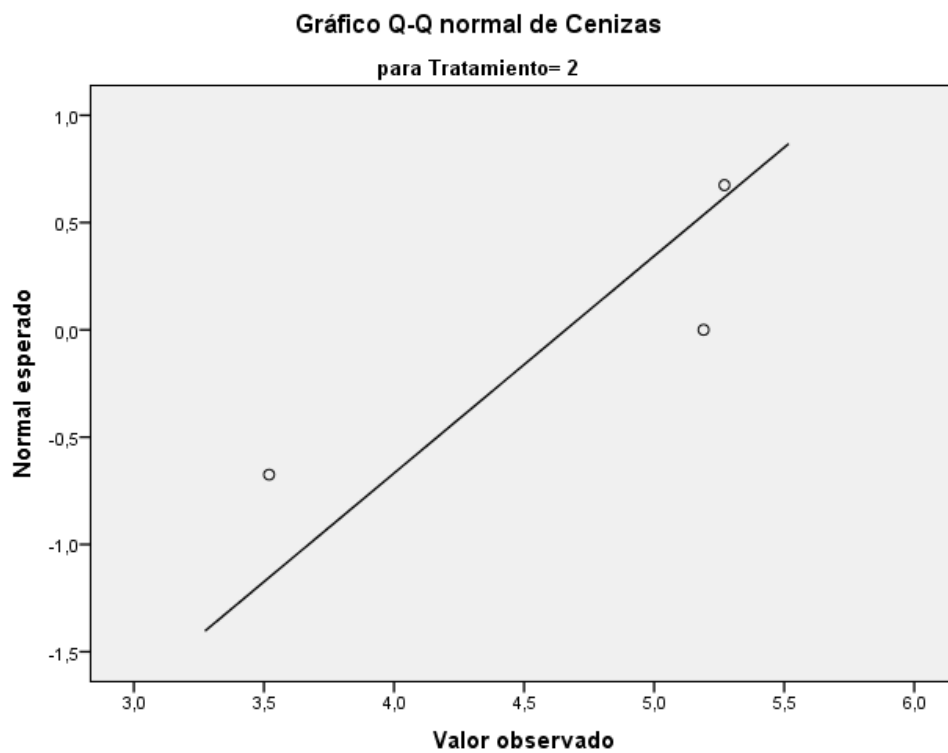
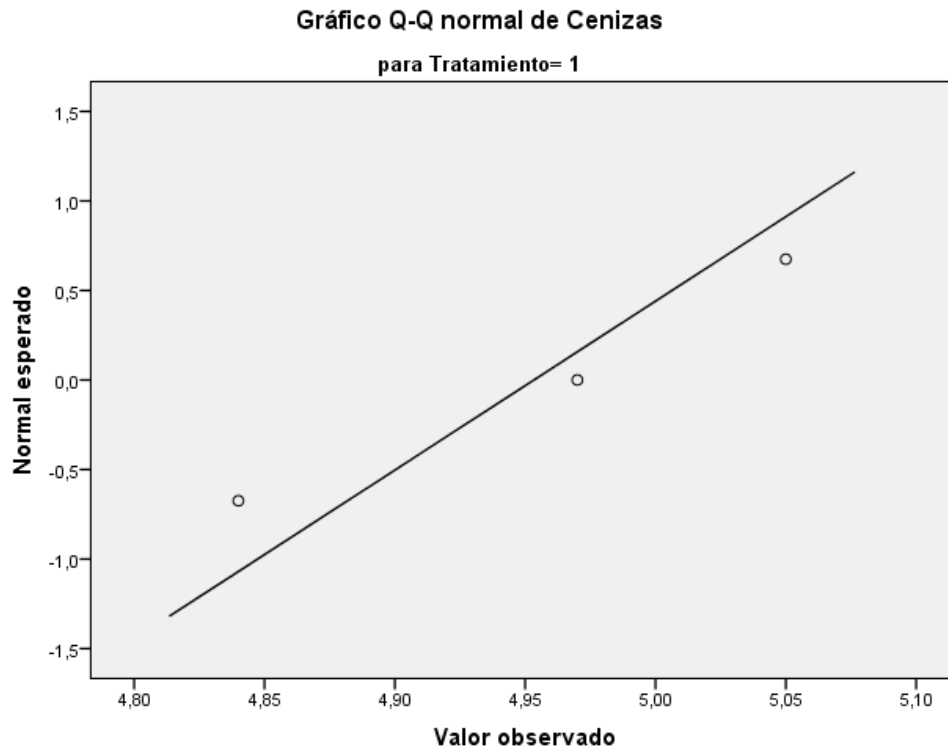


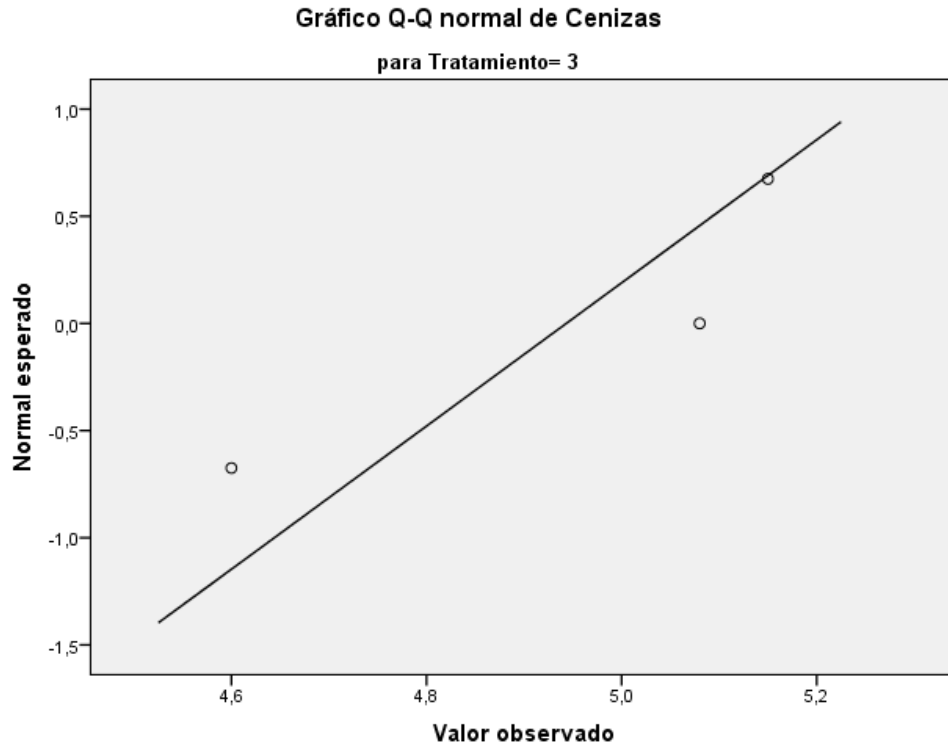


Anexo 19. Gráfico de cajas para la variable Proteína de la semilla de chía de los tres orígenes.



Anexo 20. Gráfico de Normalidad para la variable Cenizas de la semilla de chía de los tres orígenes.





Anexo 21. Gráfico de cajas para la variable Cenizas de la semilla de chía de los tres orígenes.

