



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTILÁN

**Efecto del deterioro de chía (*Salvia hispanica L.*) y
amaranto (*Amaranthus hypochondriacus L.*) sobre
sus componentes funcionales**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO EN ALIMENTOS**

PRESENTA

DAVID ALEJANDRO BRENIS RIVAS

ASESOR: Dr. Enrique Martínez Manrique

CO-ASESOR: I.A. Verónica Jiménez Vera

CUAUTILÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO, 2019



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

U.N.A.M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLÁN
ASUNTO: VOTO APROBATORIO



M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales
de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: Trabajo de Tesis

Efecto del deterioro de chíá (*Salvia hispanica L.*) y amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) sobre sus componentes funcionales.

Que presenta el pasante: David Alejandro Brenis Rivas
Con número de cuenta: 310110879 para obtener el Título de la carrera: Ingeniería en Alimentos

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 02 de Septiembre de 2019.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dra. Elsa Gutiérrez Cortez	
VOCAL	I.A. Miriam Alvarez Velasco	
SECRETARIO	Dr. Enrique Martínez Manrique	
1er. SUPLENTE	I.A. Verónica Romero Arreola	
2do. SUPLENTE	M. en C. Ana Elvia Sánchez Mendoza	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

LMCF/cga*

RECONOCIMIENTO

**EL PRESENTE TRABAJO SE REALIZÓ EN EL LABORATORIO DE
BIOQUÍMICA Y FISIOLOGÍA DE GRANOS DE LA
FES- CUAUTTLÁN, COMO UN PROYECTO DEL TALLER
MULTIDISCIPLINARIO DE PROCESOS TECNOLÓGICOS DE
CEREALES CON EL APOYO DEL PROGRAMA**

PIAPI-1841-FESC

AGRADECIMIENTOS

Mi camino de estudiante llego a su fin, no fue fácil recorrerlo, sin embargo, nunca dude que podía lograrlo. No me queda más que agradecer a las personas que estuvieron conmigo apoyándome de muchas maneras, en la vida y en mi trayectoria académica; con la finalidad de verme cumplir mis metas, una de ellas, ser un profesionalista. Y aquí está la prueba de que no defraudé su confianza, apoyo y cariño.

Agradezco:

A Dios, por haberme permitido llegar hasta este punto de mi vida lleno de bendiciones, salud, y amor en compañía de mis seres queridos.

A mis abuelos, Pedro Rivas y Guadalupe Baltazar por ser mis segundos padres, por su amor infinito, por su apoyo incondicional durante toda mi vida, aunque ya no están en esta vida, los llevaré en mi memoria durante mi camino, sé que estarán muy orgullosos de mí y me brindaran una sonrisa desde el cielo; quiero que sepan que mi promesa seguirá por siempre, los llevo en mi corazón y espero el día para volvernos a ver

A mi madre Cecilia Rivas Baltazar, por ser una increíble mujer en toda la extensión de la palabra, por ser madre y padre que no descansó hasta sacar a sus hijos adelante, déjame decirte que eso es admirable. Sé que no fue fácil mamá, tu bien sabes lo que nos ha costado, pero las cosas difíciles son las cosas por las cuales vale la pena luchar, eso tú me lo has enseñado. Gracias a ti lo hemos logrado; quiero dejar testimonio de que eres mi inspiración y mi ejemplo a seguir, nunca he conocido a una mujer tan guerrera como tú, solo le pido a Dios que me permita darte todo lo que te mereces, te amo madre mía.

A mi hermano Luis Fernando Brenis Rivas, por ser mi cómplice en toda la vida, por ser un apoyo incondicional, por compartir la felicidad, gracias, espero que te sientas orgulloso de mí como yo lo estoy de ti; tiempo habrá para que realicemos todos los proyectos que tenemos juntos ¡llego la hora hermano! Llego el momento de hacer cosas grandes, ya lo verás. Te amo gemelo gracias por esta conexión única y espectacular.

A mi hija Natalia Brenis Villegas, por ser el amor de mi vida y llenarme de energía y alegría en todo instante, eres el tesoro más preciado que puedo llegar a tener, siempre estaré para guiarte y cuidarte. Te amo hija; eres mi inspiración para hacer las cosas bien y ser un ejemplo para ti, esperando que crezcas tan hermosa como siempre, te sientas orgullosa de tu padre y sigas mis pasos.

A mis amigos y colegas Omar González y Karen Soto, por haber formado un gran equipo de trabajo durante el trayecto de la carrera, por compartir, debatir y transmitir conocimiento, por el hecho de juntos cumplir metas y superar obstáculos presentados en la facultad, pero sobre todo por su amistad sincera, por su solidaridad, por los momentos increíbles de estrés y satisfacción que pasé con ustedes siempre los llevaré en mi memoria.

De una manera especial, a Karen Soto Ramírez por ser la mujer que robo mi corazón en esta etapa, que me acompañó incondicionalmente y me dio lo mejor de sí. Por cumplir metas juntos, por superarnos y ver el uno al otro realizado y sentirse plenamente feliz; en todos los aspectos eres una persona increíble, te admiro por ser la mujer que eres, siempre de buen corazón, con valores y de gran inteligencia, si es tu decisión, es y será un placer compartir la vida contigo. Te amo.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por ser la institución que me ha forjado como profesional, asumiendo el compromiso de dejar su nombre en alto. Por mi raza hablará el espíritu.

A los profesores de la FES. Cuautitlán en particular al Dr. Enrique Martínez Manrique y a la I. A. Verónica Jiménez Vera, por ser excelentes académicos, por su profesionalismo y su entrega a la institución, los cuales transmitieron sus conocimientos para la elaboración del presente trabajo, además de resaltar su compromiso con los alumnos ya que estuvieron al pendiente en todo mi proceso de titulación.

A mis sinodales por revisar mi trabajo y por su disposición y amabilidad durante todo el proceso, gracias a sus observaciones y correcciones logré presentar un mejor trabajo.

A todos ustedes que me apoyaron durante este largo trayecto, nuevamente muchas gracias.

ÍNDICE

RESUMEN	xiii
INTRODUCCIÓN	xiv
CAPITULO I. ANTECEDENTES	1
1.1 La chía	1
1.1.1 Origen e historia de la chía	1
1.1.2 Botánica de la chía	2
1.1.2.1 Planta de chía	2
1.1.2.2 Semilla de chía	3
1.1.3 Morfología de la semilla de chía	3
1.1.4 Composición química	4
1.1.5 Valor nutricional y beneficios de las semillas de chía	6
1.1.6 Producción	9
1.2 El amaranto	11
1.2.1 Origen e historia del amaranto	11
1.2.2 Botánica del amaranto	13
1.2.2.1 Planta de amaranto	14
1.2.2.2 Semilla de amaranto	15
1.2.3 Morfología de la semilla de amaranto	15
1.2.4 Composición química	16
1.2.5 Valor nutricional y beneficios a la salud de las semillas de amaranto.....	17
1.2.6 Producción	19

1.3 Superalimento	20
1.4 Alimentos funcionales	21
1.5 Componentes funcionales	22
1.5.1 Fibra dietética	23
1.5.2 Almidón total, digerible y resistente	23
1.5.3 Fenoles	25
1.5.4 Capacidad antioxidante	27
1.6 Almacenamiento de granos o semillas	28
1.6.1 Especificaciones durante el almacenamiento	29
1.6.2 Métodos de almacenamiento de granos o semillas	29
1.6.2.1 Almacenamiento en sacos	29
1.6.2.2 Almacenamiento a granel	29
1.6.2.3 Almacenamiento hermético	30
1.6.3 Presencia de insectos, hongos y bacterias	31
1.7 Deterioro de semillas.....	32
1.7.1 Principales factores que influyen en el deterioro de las semillas	32
1.7.1.1 Altos contenidos de humedad del producto almacenado...	33
1.7.1.2 Elevada temperatura y/o humedad en el ambiente.....	33
1.7.1.3 Materia extraña.....	34
1.7.1.4 Carencia de almacenes adecuados	34
1.7.2 Efecto del deterioro sobre los granos	35
CAPITULO II. DESARROLLO EXPERIMENTAL	37
2.1 Objetivos	37

2.1.1 Objetivo general	37
2.1.1.1 Objetivos particulares	37
2.2 Cuadro metodológico	38
2.3 Metodología	39
2.3.1 Material biológico	39
2.3.2 Deterioro de las semillas	39
2.3.3 Evaluación del grado de deterioro de las semillas	39
2.3.3.1 Humedad	39
2.3.3.2 Capacidad de germinación	40
2.3.3.3 Conductividad	40
2.3.4 Componentes funcionales	41
2.3.4.1 Preparación de la muestra	41
2.3.4.2 Fibra dietética	41
2.3.4.2.1 Cenizas	43
2.3.4.2.2 Proteína	43
2.3.4.3 Almidón total	44
2.3.4.4 Almidón resistente	45
2.3.4.5 Fenoles	46
2.3.4.6 Capacidad antioxidante	47
2.3.5 Análisis estadístico	48
CAPITULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
3.1 Determinación del grado de deterioro	49
3.1.1 Humedad	49

3.1.2 Capacidad de germinación	50
3.1.3 Conductividad	52
3.2 Componentes funcionales	53
3.2.1 Fibra dietética	53
3.2.2 Almidón total	55
3.2.3 Almidón resistente	56
3.2.4 Almidón digerible	58
3.2.5 Fenoles	59
3.2.6 Capacidad antioxidante.....	60
CONCLUSIONES	64
RECOMENDACIONES.	65
BIBLIOGRAFÍA	66

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química de la semilla de chía	5
Tabla 2. Contenido de aminoácidos en la semilla de chía	7
Tabla 3. Evolución de la producción de chía en México	10
Tabla 4. Distribución de producción de chía en México durante el ciclo primavera-verano de 2014.	10
Tabla 5. Composición química de la semilla de amaranto	16
Tabla 6. Volumen de producción de amaranto en el periodo 2015-2016	20
Tabla 7. Porcentaje de pérdida de granos según el área	28
Tabla 8. Contenido de Fibra dietética en muestras deterioradas de chía y amaranto	54
Tabla 9. Contenido de Almidón Total presente en muestras deterioradas de chía y amaranto ..	55
Tabla 10. Contenido de Almidón Resistente presente en muestras deterioradas chía y amaranto ..	56
Tabla 11. Contenido de Almidón Digerible presente en muestras deterioradas chía y amaranto.....	58
Tabla 12. Contenido de Fenoles presente en muestras deterioradas chía y amaranto	59
Tabla 13. Capacidad antioxidante en muestras deterioradas chía y amaranto ..	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Chía (<i>Salvia hispanica L.</i>)	1
Figura 2. Planta de chía (<i>Salvia hispanica L.</i>)	2
Figura 3. Semillas de chía	3
Figura 4. Morfología de la semilla	4
Figura 5. Estructura de antioxidantes presentes en la chía	6
Figura 6. Estructuras químicas de ácidos grasos omega 3 y 6 (linolénico y linoleico)	8
Figura 7. Estructuras químicas de los ácidos Eicosapentaenoico (EPA) y Docosahexaenoico (DHA)	8
Figura 8. Volumen de toneladas exportadas de chía y valor en millones de dólares	11
Figura 9. Amaranto cultivo prehispánico	12
Figura 10. Especies de amaranto más importantes: a) <i>A. hypochondriacus</i> b) <i>A. cruentus</i> c) <i>A. caudatus</i>	13
Figura 11. Cultivo de amaranto	13
Figura 12. Planta de amaranto	14
Figura 13. Semillas de amaranto	15
Figura 14. Diagrama de secciones transversal (a) y longitudinal (b) de semilla de amaranto	15

Figura 15. Porcentaje de Lisina en el amaranto y algunos cereales	18
Figura 16. La chía y el amaranto dentro de los superalimentos	21
Figura 17. Clasificación general de los compuestos fenólicos	26
Figura 18. Semillas de chía y amaranto en sacos	29
Figura 19. Almacenamiento de semillas a granel o en sacos	30
Figura 20. Silos herméticos	30
Figura 21. Almacenamiento inadecuado de granos	35
Figura 22. Cuadro metodológico	38
Figura 23. Humedad en las semillas de chía y amaranto durante los días de almacenamiento inadecuado (75% HR y 40°C).	49
Figura 24. Germinación en las semillas de chía y amaranto conforme aumentan los días de deterioro.	51
Figura 25. Conductividad en las semillas de chía y amaranto a diferentes días de deterioro.	52

RESUMEN

La *Salvia hispanica L.* comúnmente conocida como chía y el *Amaranthus hypochondriacus L.* o simplemente amaranto, son originarias del sur y del centro de México respectivamente, sus semillas actualmente han adquirido gran importancia ya que son alimentos cuyo aporte nutritivo supera en cantidad y calidad lo proporcionado por otros granos, además de ser considerados alimentos funcionales ya que contienen componentes biológicamente activos que ejercen efectos beneficiosos básicos en una o varias funciones del organismo y que se traducen en una mejora de la salud o en una disminución del riesgo de sufrir enfermedades; por tanto, la producción de estas semillas se ha ido incrementando en los últimos años. Sin embargo, existen problemas con el almacenamiento de estos granos pues, la mayoría de las veces, no es el adecuado ya que la temperatura y la humedad de almacenamiento no son controladas, y estos son los principales factores que propician el deterioro de las semillas y con ello la pérdida de su calidad agronómica, sanitaria y nutrimental. Su alteración en cuanto a su potencial nutracéutico no ha sido estudiado, por lo tanto, el objetivo fue evaluar el efecto de un almacenamiento inadecuado sobre sus componentes funcionales.

En primer lugar, se provocó un deterioro acelerado en las semillas de amaranto y chía almacenándolas a 40 °C y 75% de humedad relativa, dichas condiciones se mantuvieron durante 9, 18, 27, 36, 45 y 56 días. Se determinó el deterioro midiendo su capacidad germinativa y conductividad eléctrica, obteniendo así muestras de chía y amaranto a diferentes grados de deterioro evaluando su efecto sobre sus componentes funcionales determinando a cada muestra el contenido de fibra dietética, compuestos fenólicos, capacidad antioxidante, almidón resistente y digerible.

Los resultados mostraron que las semillas de chía y amaranto tuvieron una disminución parcial y total en su capacidad germinativa, obteniéndose muestras con diferentes grados de deterioro cuyas alteraciones provocadas en sus componentes funcionales reflejaron que en las semillas de chía existió un ligero aumento en su contenido de fibra dietética y compuestos fenólicos, un aumento significativo en cuanto al contenido de almidón total y almidón resistente, además de una notable disminución en su capacidad antioxidante. En cuanto a las semillas de amaranto existió una disminución en su fibra dietética y fenoles, un aumento en almidón total y almidón resistente, además de una disminución similar a las semillas de chía en su capacidad antioxidante. Por lo tanto, se puede concluir que existió una alteración en los componentes funcionales de ambas semillas, provocado por un almacenamiento inadecuado, teniendo un impacto negativo en su potencial nutracéutico.

Palabras clave: amaranto, chía, componentes funcionales, deterioro.

INTRODUCCIÓN

La chía (*Salvia hispanica L.*) es una planta herbácea, perteneciente a la familia *Lamiacea*, que deriva del término nahua chían, que significa semilla de la que se obtiene aceite (Carrillo *et al.*, 2017) y el amaranto es una planta de la familia *Amaranthacea*, que en náhuatl “Huautli” hace referencia al tamaño de la semilla y su capacidad de germinación (PROGRAMA ECO-AMARANTO, 2014). Ambas semillas originarias de Mesoamérica fueron representativas desde la época prehispánica, siendo de gran importancia para las culturas que se desarrollaron, principalmente para los aztecas y mayas; ya que fueron utilizadas como alimento, además de ser usadas en ceremonias religiosas y aplicadas en arte ya que se obtenían pinturas, sin embargo, su consumo fue decayendo ya que en la época de la conquista fueron prohibidos por considerarse paganos, y con ello se buscó la destrucción y sustitución de los patrones culturales autóctonos (Solís, 2006).

La chía y el amaranto son alimentos que actualmente se están retomando debido a que son semillas con gran calidad nutrimental, superando lo aportado por otros granos que actualmente son los más consumidos y empleados para la elaboración de productos que proporcionan nutrientes de baja calidad, por lo que la producción tanto de chía y amaranto aumentó en los últimos años ya que cada vez son más los consumidores que se preocupan por su alimentación (Araya y Lutz, 2003).

La chía se caracteriza por tener un alto contenido de lípidos entre los cuales destacan los ácidos grasos esenciales insaturados como el α -linoleico (omega 3) y linolénico (omega 6), además de un contenido proteico de excelente calidad ya que presenta un balance de aminoácidos esenciales entre los cuales se encuentra la leucina, valina, fenilalanina, entre otros, finalmente la chía contiene un alto contenido en fibra dietética teniendo un impacto positivo en la digestión (Carrillo *et al.*, 2017). Por su parte el amaranto presenta un alto aporte proteico de buena calidad donde los aminoácidos esenciales que destacan son isoleucina, leucina, metionina, fenilalanina, treonina, valina y lisina (Alagara *et al.*, 2016), a su relevante proporción proteica se suma su elevado aporte de minerales como calcio, hierro y un excelente espectro de vitaminas (Mapes, 2015)., además de que entre su

fracción lipídica destaca su elevado contenido de escualeno que es un hidrocarburo poliinsaturado encontrado abundantemente en el aceite de tiburón y en menor cantidad en algunos aceites vegetales (Ariza *et al.*, 2016).

Por otra parte, las semillas contienen componentes funcionales que ejercen efectos beneficiosos y nutricionales básicos en una o varias funciones del organismo y que se traducen en una mejora de la salud o en una disminución del riesgo de sufrir enfermedades (Fuentes *et al.*, 2015), entre los cuales se encuentra la fibra dietética, almidón digerible y resistente, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante.

Por otro lado, las semillas antes de ser consumidas o aprovechadas para la elaboración de algún subproducto tuvieron que estar almacenadas, sin embargo, el almacenamiento de la chía y el amaranto en la mayoría de los casos no es el adecuado por ser semillas que actualmente se están retomando, durante un mal almacenamiento la humedad y temperatura son los principales factores que propician el deterioro de las semillas.

Se ha comprobado que un almacenamiento inadecuado de las semillas de chía y amaranto con alta temperatura y humedad relativa, propician un deterioro acelerado; teniendo un impacto negativo sobre su calidad nutrimental (Jiménez-Vera y Martínez-Manrique, 2017; De la Cruz, 2018). Sin embargo, el efecto de un mal almacenamiento sobre sus componentes funcionales no ha sido estudiado, por lo que el propósito de esta investigación fue evaluar el efecto del deterioro de chía (*Salvia hispanica L.*) y amaranto (*Amaranthus hypochondriacus L.*) provocado por un almacenamiento inadecuado sobre su potencial nutracéutico (actividad antioxidante, fenoles, fibra dietética almidón total y resistente).

Para ello, en el presente trabajo se provocó en las semillas un deterioro acelerado, con un almacenamiento a 40°C y 70 % HR, por diferentes periodos de tiempo (9, 18, 27, 36, 45 y 56 días), permitiendo obtener muestras con diferentes grados de deterioro con lo que se evaluará la alteración provocada en sus componentes funcionales (fibra dietética, almidón digerible y resistente, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante) para determinar el impacto de un almacenamiento inadecuado sobre su potencial nutracéutico.

CAPITULO 1. ANTECEDENTES

1.1 La chía

1.1.1 Origen e historia de la chía

La (*Salvia hispanica* L.) comúnmente conocida como chía (Figura 1) se deriva del término nahua chían o chien (plural), que significa semilla de la que se obtiene aceite, es una planta herbácea, perteneciente a la familia Labiatae ó Lamiacea (Carrillo *et al.*, 2017) originaria de Mesoamérica (Hernández y Miranda, 2008) específicamente al sur de México y norte de Guatemala (Hernández, 2016).

El uso de la semilla y sus subproductos se remontan a 3,500 a.C., siendo parte esencial en la época prehispánica, ya que fueron utilizadas por Mayas y Aztecas como fuente de alimento por su harina y el aceite para producir cosméticos y pinturas; además de sus usos medicinales y religiosos en ceremonias mediante ofrendas, por lo que las semillas y su harina fueron las materias primas más usadas de la época de la conquista española, formando parte de los cuatro granos más importantes: maíz (*Zea Mayz*), frijol (*Phaseolus Vulgaris*), chía (*Salvia hispanica*) y amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) que conformaron la base de la dieta alimentaria de dichas civilizaciones (Xingú *et al.*, 2017).



Fuente: Fernández, 2018

Figura 1. Chía (*Salvia hispanica* L.)

Antes de la conquista de América, la chía era un alimento básico para las civilizaciones de México; su cultivo era probablemente el tercero en importancia económica, superado sólo por el maíz y el frijol (Fideicomiso, 2017). Debido a la importancia cultural y religiosa de la chía en la cultura azteca, los conquistadores prohibieron su cultivo y ordenaron que fuera reemplazada por granos como el trigo y la cebada (González, 2016).

1.1.2 Botánica de la chía

1.1.2.1 Planta de chía

La planta (Figura 2) puede llegar a medir hasta 1 m de altura, presenta hojas opuestas de 4 a 8 cm de largo y 3 a 5 de ancho. Sus flores son hermafroditas, purpúreas, blancas y aparecen en cimas terminales con tamaños que oscilan entre los 3 a los 4 mm (Hernández, 2016).



Fuente: Sabina, 2012

Figura 2. Planta de chía (*Salvia hispanica* L.)

Prefiere suelos ligeros a medios, bien drenados, no demasiado húmedos; como la mayoría de las salvias, es tolerante respecto a la acidez y a la sequía, pero no soporta las heladas. Requiere abundante sol, y no fructifica en la sombra. (Hernández, 2016).

1.1.2.2 Semilla de chía

Se clasifica dentro de los frutos secos indehiscentes, tiene forma oval de superficie lisa y brillante, su tamaño es de 1 mm a 1.2 mm de ancho y 2 mm a 2.2 mm de largo aproximadamente, de color negro grisáceo con manchas irregulares rojizas en su mayoría y algunos blancos (Figura 3); remojados en agua originan un líquido gelatinoso debido a la presencia de mucílagos en su superficie. La forma de propagación de esta especie es a través de sus semillas (Hernández, 2016).



Fuente: Torres, 2018

Figura 3. Semillas de chía

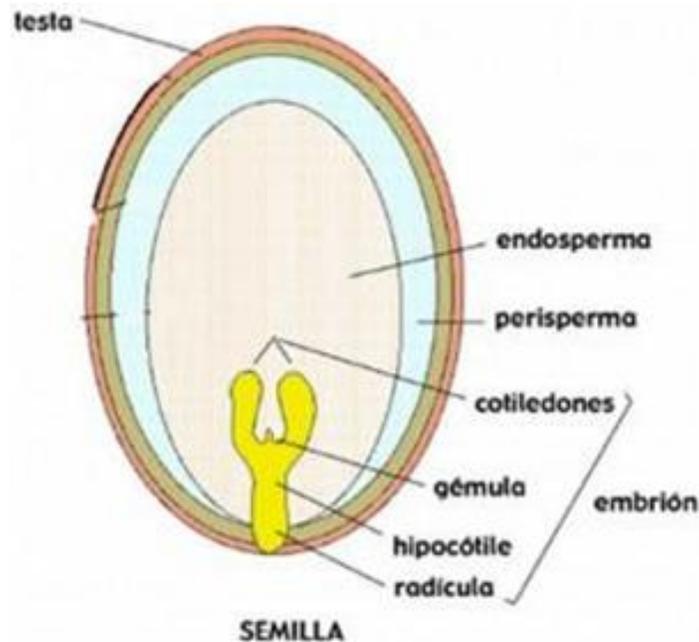
1.1.3 Morfología de la semilla de chía

La semilla consta de tres partes principales: testa, endospermo y embrión (Figura 4). La testa es la capa exterior, es delgada, fuertemente reticulada, formada por pequeñas crestas y en el interior es lisa, de células aplanadas, de paredes muy delgadas, dicha capa funciona como protección de factores bióticos como son

insectos, hongos y de factores abióticos como humedad y temperatura, en esta parte principalmente hay un mayor contenido de fibra y minerales.

Otra parte fundamental de la semilla es el endospermo que funciona como reserva de nutrientes de la semilla, en esta parte se concentran principalmente cuerpos proteicos lenticulares y cuerpos lipídicos esféricos.

Finalmente, cuenta con dos cotiledones y el eje embrional, el embrión es de suma importancia ya que es la estructura que puede dar origen a una planta, donde se concentran la mayor cantidad de nutrientes como lípidos, proteínas, azúcares solubles y vitaminas (Di Sapio, 2012).



Fuente: Romero, 2011

Figura 4. Morfología de la semilla

1.1.4 Composición química

En su composición química la chía se caracteriza por un bajo contenido de humedad, tiene un alto contenido de materia grasa, un aporte proteico importante y minerales (Tabla 1), destacándose de otras semillas de consumo habitual como es el caso de los cereales (Jiménez *et al.*, 2013).

Tabla 1 .Composición química de la semilla de chía

Componente	%
Humedad	6.20
Proteína	19.9
Grasa	27.9
Cenizas	4.50
Hidratos de carbono	8.60
Fibra dietética	33.0

Fuente : Jiménez *et al.*, 2013

Los componentes de reserva de las semillas consisten en proteínas, carbohidratos y lípidos. La proporción relativa y localización de estos compuestos varía de acuerdo a la especie (Jiménez *et al.*, 2013).

Las semillas, en general, son fuente de compuestos lipídicos que incluyen ácidos grasos, tocoferoles, triglicéridos, fosfolípidos, esfingolípidos y esteroides. Los lípidos son nutrientes importantes en la dieta tanto humana como animal, entre sus componentes, destacan los ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga, los cuales son componentes dietarios que participan en múltiples procesos fisiológicos, cumpliendo un rol estructural en los fosfolípidos de las membranas celulares y son sustratos para la síntesis de diversos mediadores que modelan múltiples procesos como inmunidad, patologías infecciosas y enfermedades inflamatorias (Jiménez *et al.*, 2013).

Además, la chía contiene aproximadamente un 20% de proteína, nivel que resulta más alto que el que contiene algunos cereales tradicionales como el trigo (13,7%), el maíz (9,4%), el arroz (6,5%), la avena (16,9%) y la cebada (12,5%) Es importante destacar no solo la cantidad de proteína aportada si no su calidad ya que posee un balance entre los aminoácidos esenciales; encontrando un mayor aporte de lisina, cisteína y metionina superando el aporte de otras semillas (Jaramillo, 2013).

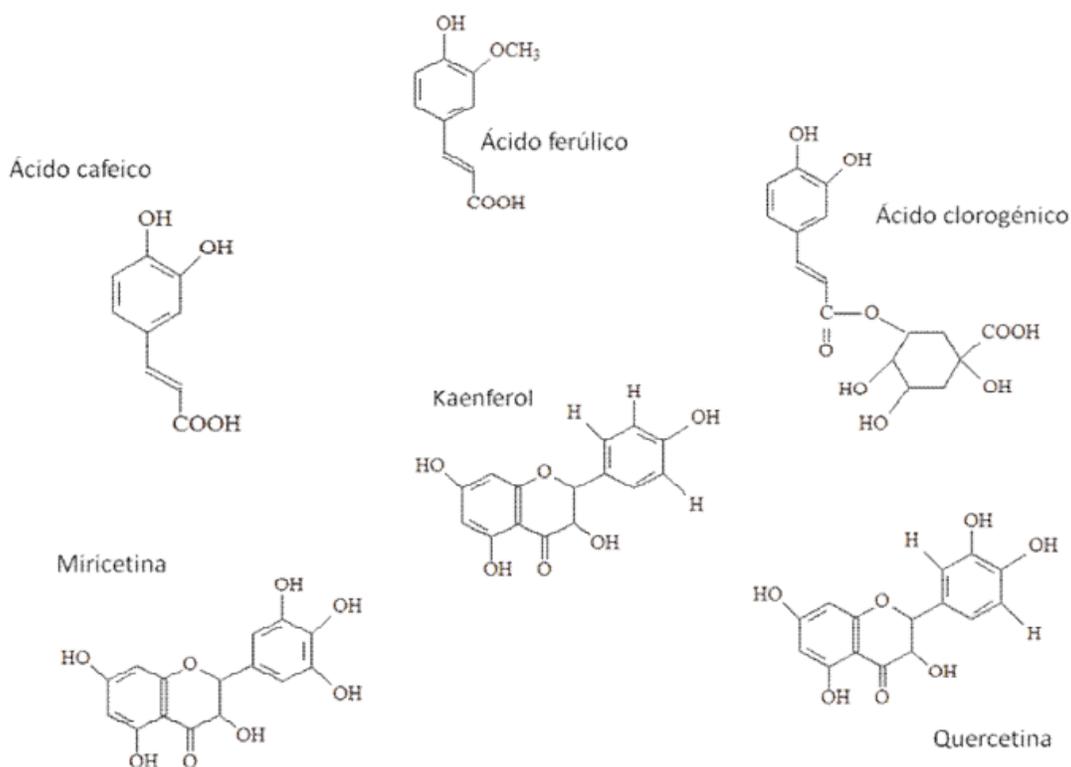
Por otra parte, la chía contiene un alto contenido de fibra, destacando la fibra soluble que a su vez forma parte de la fibra dietética compuesta de polisacáridos, oligosacáridos y lignina que resisten la hidrólisis por parte de las enzimas digestivas

humanas llegando intactos al colon donde algunos pueden ser hidrolizados y fermentados (De la Cruz, 2018).

1.1.5 Valor nutricional y beneficios de las semillas de chía

La semilla está constituida de ácidos grasos, fibra, aminoácidos, antioxidantes, vitaminas, minerales, también es fuente importante de flavonoides, no contiene gluten, por lo que es apta para celíacos.

En cuanto a los antioxidantes contiene ácido cafeico, clorogénico y cinámico junto con flavonoides (miricetina, quercetina y kaempferol) (Figura 5) se ha demostrado una alta actividad contra radicales libres, disminuyen el estrés oxidativo y la inflamación en síndrome metabólico, así mismo tienen efectos terapéuticos en patologías como la arterosclerosis, el cáncer y la cardiopatía isquémica (Carrillo *et al.*, 2017).



Fuente : Jaramillo, 2013

Figura 5. Estructura de antioxidantes presentes en la chía

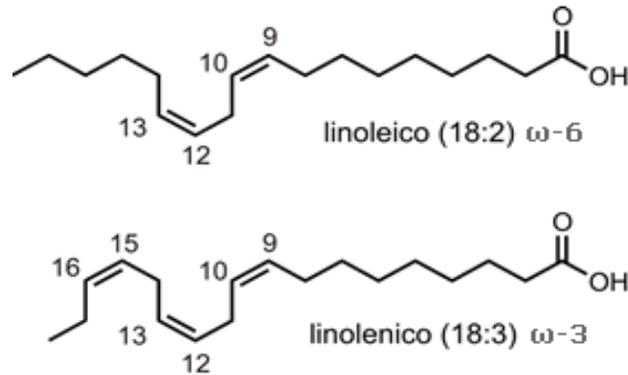
En cuanto al contenido de aminoácidos (componentes esenciales de las proteínas), la chía cuenta con ácido glutámico, arginina, leucina, valina, serina, fenilalanina, entre otros; éstos colaboran en la formación de tejidos, enzimas, compuestos del organismo como la sangre, hormonas, anticuerpos y material genético (Tabla 2) (Carrillo *et al.*, 2017).

Tabla 2. Contenido de aminoácidos en la semilla de chía

Aminoácidos	g/16 g N
▪ Ácido glutámico	12.4
▪ Arginina	8.9
▪ Ácido aspártico	7.6
▪ Leucina	5.9
▪ Valina	5.1
▪ Serina	4.9
▪ Fenilalanina	4.7
▪ Lisina	4.4
▪ Prolina	4.4
▪ Alanina	4.3
▪ Glicina	4.2
▪ Treonina	3.4
▪ Isoleucina	3.2
▪ Tirosina	2.8
▪ Histidina	2.6
Total	78.8

Fuente: Carrillo *et al.*, 2017

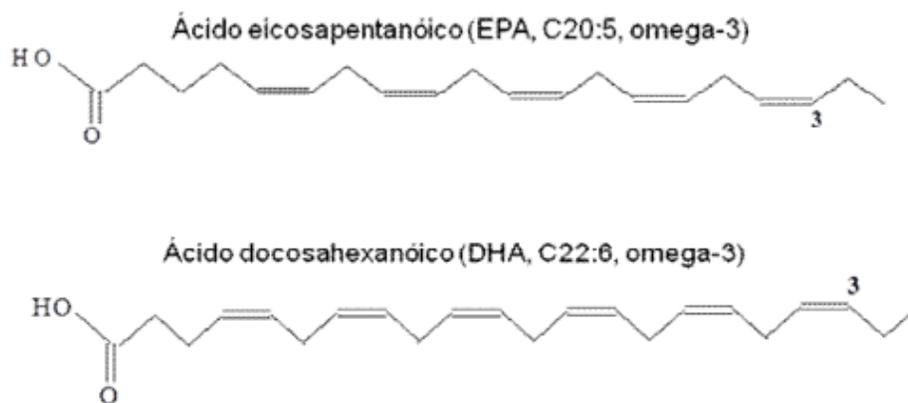
Además, esta semilla contiene entre 25 y 40% de aceite, posee Ácidos Grasos esenciales (no sintetizados por el organismo humano) tanto insaturados como saturados en proporción 4:1, es de destacar el α -linolénico con 64% (omega 3) y el linoleico 20% (omega 6), además de contener el palmítico (C16) y esteárico (C18), estos dos en relación 2:1. La omega 3 y 6 (linolénico y linoleico) (Figura 6) cumplen funciones específicamente energéticas y de reserva metabólica y son la estructura básica de algunas hormonas, sales biliares, prostaglandinas, leucotrienos y tromboxanos, sustancias que participan en diferentes actividades como anticoagulantes y antiagregantes, entre muchas otras funciones (Carrillo *et al.*, 2017).



Fuente: Químicas, 2016

Figura 6. Estructuras químicas de ácidos grasos omega 3 y 6 (linolénico y linoleico)

El DHA (ácido docosahexaenoico) y EPA (ácido eicosapentaenoico) (Figura 7), derivan del ácido α -linolénico, desempeñan un papel importante en la membrana celular a la que proporcionan mayor flexibilidad, lo que permite el movimiento de proteínas en una superficie dentro de la bicapa lipídica. Poseen actividades hepatoprotectoras y antidiabéticas, además de proteger contra la artritis autoinmune y el cáncer. Por otro lado, reducen las concentraciones de factores de crecimiento y productos de moléculas de adhesión, lo que favorece la disminución en el transporte de leucocitos y células de músculo liso en la parte interior de la pared vascular y retrasan el proceso aterosclerótico (Carrillo *et al.*, 2017).



Fuente : Jaramillo, 2013

Figura 7. Estructuras químicas de los ácidos Eicosapentaenoico (EPA) y Docosahexaenoico (DHA)

Hay tres mecanismos principales involucrados en el efecto protector cardiovascular de los ácidos grasos omega 3; su efecto antiinflamatorio, efecto antitrombótico y acción antiarrítmica; éstos evitan la adherencia de plaquetas en las arterias, contribuyen a bajar la presión sanguínea y reducen la concentración de triacilglicéridos en plasma, así como el colesterol total (Carrillo *et al.*, 2017).

Por otra parte, presenta un alto contenido de fibra. Absorbe 27 veces su peso de agua, por su contenido de fibra dietética soluble, ayudando a contrarrestar problemas de estreñimiento, divertículos y cáncer de colón, además actúa dando efecto de saciedad y disminuyendo la entrada calórica por la alta viscosidad del gel formado en el tracto gastrointestinal (Xingú *et al.*, 2017).

La semilla de chía se ha caracterizado también por ser una buena fuente de vitaminas y minerales del complejo B como la Niacina, tiamina y ácido fólico, así como Vitamina A (Jaramillo, 2013) son indispensables por ser mediadoras de procesos metabólicos para la obtención de energía, para la síntesis de muy diversos componentes del organismo (Carrillo *et al.*, 2017).

Finalmente, la semilla de chía es una fuente excelente de calcio, fósforo, magnesio, potasio, hierro, zinc y cobre (Jaramillo, 2013), en gran parte, pero no de forma exclusiva forman parte de la estructura de moléculas y hay presencia en los tejidos, además de ser cofactores de múltiples procesos enzimáticos.

1.1.6 Producción

Actualmente los principales países productores de chía son México, Guatemala, Bolivia, Colombia y Argentina, gracias a que a finales del siglo pasado el interés por la chía resurgió adquiriendo particular importancia por la composición química de su semilla. Ya que es una excelente fuente de aceites altamente insaturados, los cuales tienen un gran contenido de ácidos grasos omega-3 los cuales promueven efectos beneficiosos para la salud (Carrillo *et al.*, 2017).

En México la producción de chía ha ido en incremento, y es claro el crecimiento en la superficie sembrada que ha tenido, así como el comportamiento del precio y del rendimiento por hectárea. En la tabla 3 se puede observar la evolución de la producción de chía.

Tabla 3. Evolución de la producción de chía en México.

Año	Superficie sembrada (ha)	Superficie cosechada (ha)	Producción (t)	Precio medio rural (\$ t ⁻¹)
2006	15	15	37.5	7800.00
2007	37	22	45.8	7500.00
2008	20	20	60	5200.00
2009	45	34	33.6	5291.00
2010	2329	2329	2913.5	19646.00
2011	2750	2750	3448.6	16086.00
2012	5097	5097	2060.16	65777.00
2013	18155	17915	8431.89	56740.00
2014	16721	16515	9548.14	44061.00

Fuente: Xingú *et al.*, 2017

La producción en México se concentra en Jalisco y Puebla y se empieza a incursionar en nuevas zonas con potencial productivo, como se observa en la siguiente tabla; en Jalisco producción se centra en los municipios de: Acatic, Cuquío, Ixtlahuacán del Río y Jamay, mientras en Puebla los municipios productores son: Atzitzihuatlán, Huaquechula, San Felipe Tepemaxalco y Tochimilco (Xingú *et al.*, 2017). La distribución de la producción en el año 2014 se muestra en la Tabla 4.

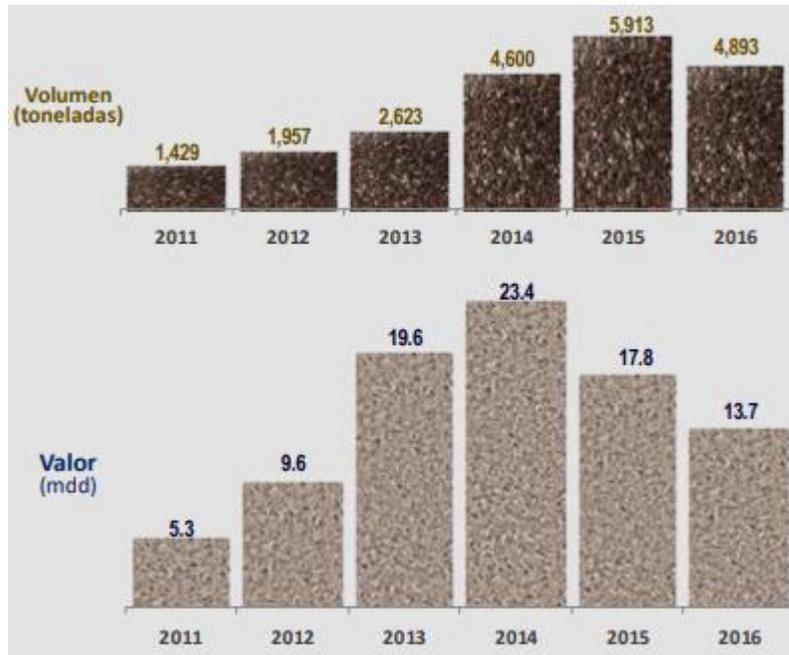
Tabla 4. Distribución de producción de chía en México durante el ciclo primavera-verano de 2014.

Ubicación	Superficie sembrada (ha)	Superficie cosechada (ha)	Producción (t)	Costo (\$ t ⁻¹)
Jalisco	15790	15790	9058	44408
Puebla	460	460	391	34659
Nayarit	281	261	97	49793
San Luis Potosí	20	4	1	24000
Guanajuato	150	0	0	0
Aguascalientes	20	0	0	0
Total	16721	16515	9548	44061.00

Fuente: Xingú *et al.*, 2017

El mayor centro productor de México está en Acatic, Jalisco con un 99% de la producción nacional (Lamas, 2013) desde donde se exportan cantidades crecientes a Japón, Estados Unidos y Europa (SIAP, 2017).

En 2016, México canalizó al mercado externo 4 mil 893 toneladas de chía (Figura 8), Entre 2011 y 2016 cada año en promedio aumentó en 693 toneladas las exportaciones de la semilla (SIAP, 2017).



Fuente: SIAP, 2017

Figura 8. Volumen de toneladas exportadas de chía y valor en millones de dólares

1.2 El amaranto

1.2.1 Origen e historia del amaranto

El Amaranto es una planta de la familia Amaranthacea que incluye cerca de 60 géneros y más de 800 especies (Programa Ecoamaranto, 2014). El término proviene de la lengua náhuatl "Huautli" hace referencia al tamaño de la semilla y su capacidad de germinación, se traduce como la partícula más pequeña capaz de dar vida. Se localizaron los primeros vestigios de semillas de *Amaranthus spp.* en Mesoamérica específicamente en el Valle de Tehuacán Teotitlán, actualmente Puebla en México, indicando que su domesticación tuvo lugar en la misma época que el maíz (García, 2012).

El amaranto fue una semilla base en la alimentación para civilizaciones prehispánicas (Mapes, 2015) (Figura 9), además se entrelazaba con los rituales; en varias fechas del calendario religioso las mujeres aztecas molían la semilla, la mezclaban con miel y formaban figuras de víboras, aves, montañas, venados y dioses, para ser comidas en las ceremonias, en los grandes templos o en pequeñas reuniones familiares (García, 2012).

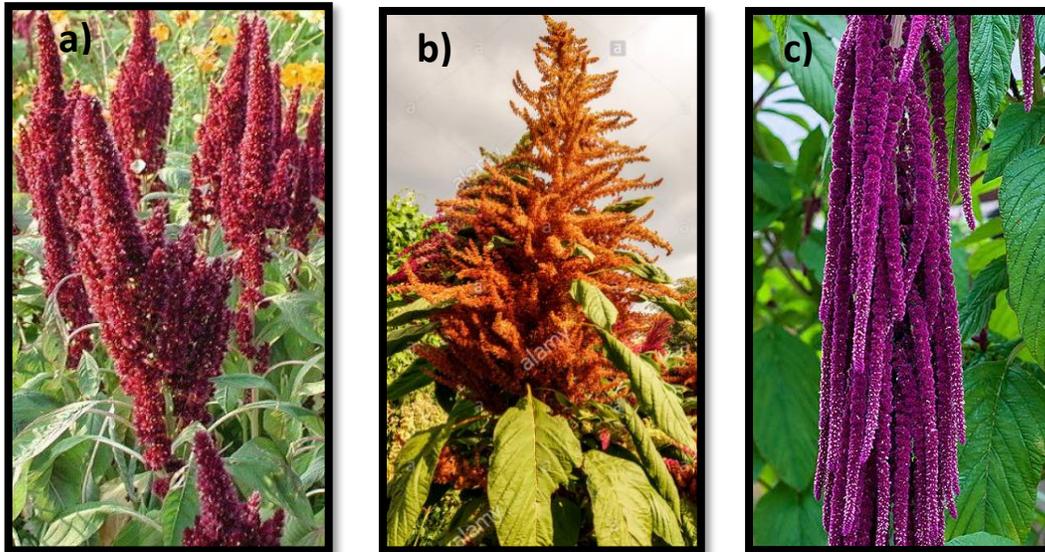


Fuente: Drradio, 2015

Figura 9. Amaranto cultivo prehispánico

A la llegada de los españoles a México uno de los paliativos para dormir a los nativos era la imposición de la religión cristiana y hacerlos olvidar la propia; como el amaranto estaba muy relacionado con los rituales religiosos, fue prohibido su cultivo, motivo por el cual, se vio drásticamente reducido al grado que casi llegó a desaparecer (Mapes, 2015).

De las más de 800 especies del genero tres son las principales productoras de grano: el *A. hypochondriacus* y el *A. cruentus*, cultivados en México y en Guatemala, y el *A. caudatus*, que se siembra en Perú (Figura 10) (Hernández, 1998).



Fuente: a) Alchetron, 2018; b) alamy, 2018; c) alamy, 2015

Figura 10. Especies de amaranto más importantes: a) *A. hypochondriacus*, b) *A. cruentus* y c) *A. caudatus*

1.2.2 Botánica del amaranto

El amaranto es una especie anual, herbácea o arbustiva de diversos colores que van del verde al morado o púrpura con distintas coloraciones intermedias. La raíz es pivotante con abundante ramificación y múltiples raicillas delgadas, que se extienden rápidamente después que el tallo comienza a ramificarse (Figura 11) (García, 2012).



Fuente: Revista industrial del campo, 2016

Figura 11. Cultivo de amaranto

1.2.2.1 Planta de amaranto

El tallo es cilíndrico y anguloso con gruesas estrías longitudinales que le dan una apariencia acanalada de 0.4 a 3 m de longitud, cuyo grosor disminuye de la base al ápice, presenta distintas coloraciones que generalmente coinciden con el color de las hojas que son pecioladas, sin estipulas de forma oval, elíptica, opuestas o alternas con nervaduras prominentes en el envés, lisas o poco pubescentes de color verde o púrpura cuyo tamaño disminuye de la base al ápice, presentando borde entero, de tamaño variable de 6.5 cm- 15 cm. La inflorescencia del amaranto corresponde a panojas amarantiformes o glomeruladas muy vistosas, terminales o axilares, que pueden variar de totalmente erectas hasta decumbentes, con colores que van del amarillo, anaranjado, café, rojo, rozado, hasta el púrpura; el tamaño varía de 50 a 90 cm (Figura 12) (García, 2012).



Fuente: Barragán, 2019

Figura 12. Planta de amaranto

1.2.2.2 Semilla de amaranto

Se clasifica dentro de los frutos dehiscentes, la semilla es pequeña, lisa, brillante de 1 - 1.5 mm de diámetro, ligeramente aplanada, de color blanco, aunque existen de colores amarillentos dorados, rojos, rosados, púrpuras y negros (Figura 13).

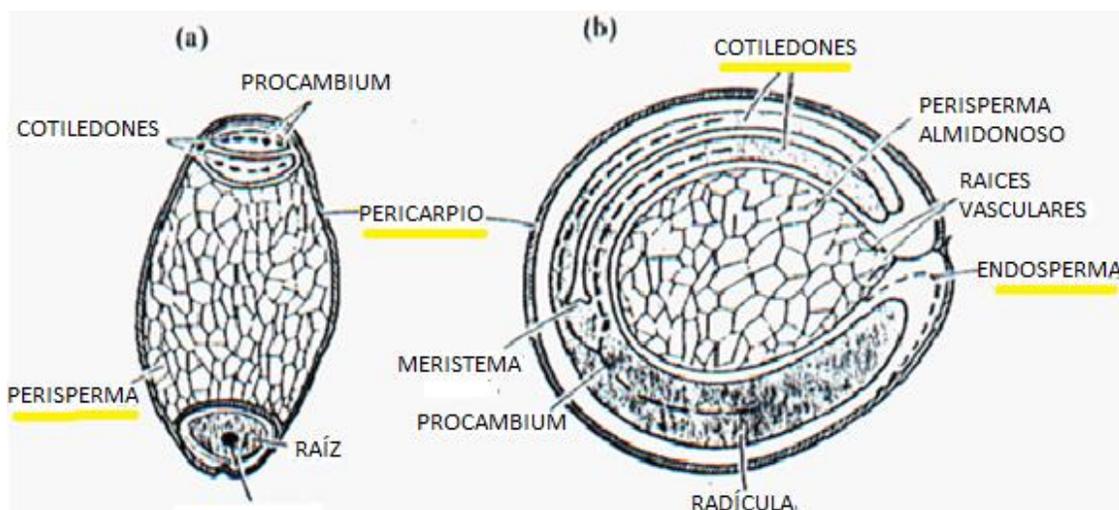


Fuente: Semillas Orgánicas y semillas raras, 2019

Figura 13. Semillas de amaranto

1.2.3 Morfología de la semilla de amaranto

En el grano se distinguen cuatro partes importantes: pericarpio que viene a ser la cubierta seminal, constituida por una copa de células muy finas, endosperma que es la segunda capa, embrión formado por los cotiledones que es la más rica en proteínas y una interna llamada perisperma rica en almidones (Figura 14).



Fuente: Irving *et al.*, 1981

Figura 14. Diagrama de secciones transversal (a) y longitudinal (b) de semilla de amaranto

1.2.4 Composición química

Las semillas de amaranto se caracterizan por tener principalmente un alto valor proteico, sin embargo, su importancia no radica en la cantidad sino en la calidad de la misma con un excelente balance de aminoácidos además de un aporte en grasa rica en ácidos grasos poliinsaturados, sumado a esto contiene un alto valor en carbohidratos donde el almidón es el componente principal, finalmente la semilla contiene minerales como el hierro, calcio, magnesio y fósforo (Porr, 2012). La composición química de la semilla de amaranto se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Composición química de la semilla de amaranto

COMPONENTE	%
Humedad	11.1
Proteína	17.9
Grasa	7.70
Cenizas	4.10
Hidratos de carbono	57.0
Fibra	2.20

Fuente: Matías *et al.*, 2018

En promedio, el grano de amaranto contiene entre un 13 y 19% de proteína, que se ha descrito como proteína de alta calidad. Esto último se refiere a su contenido de aminoácidos esenciales como: histidina, isoleucina, leucina, metionina, fenilalanina, treonina, valina y lisina (Alagara *et al.*, 2016). El contenido de lisina (aminoácido limitante en los cereales) es mayor, con una concentración que ronda el 15%-18%, más alta que la que se encuentra en el trigo, el arroz y el maíz (Robles, 2013).

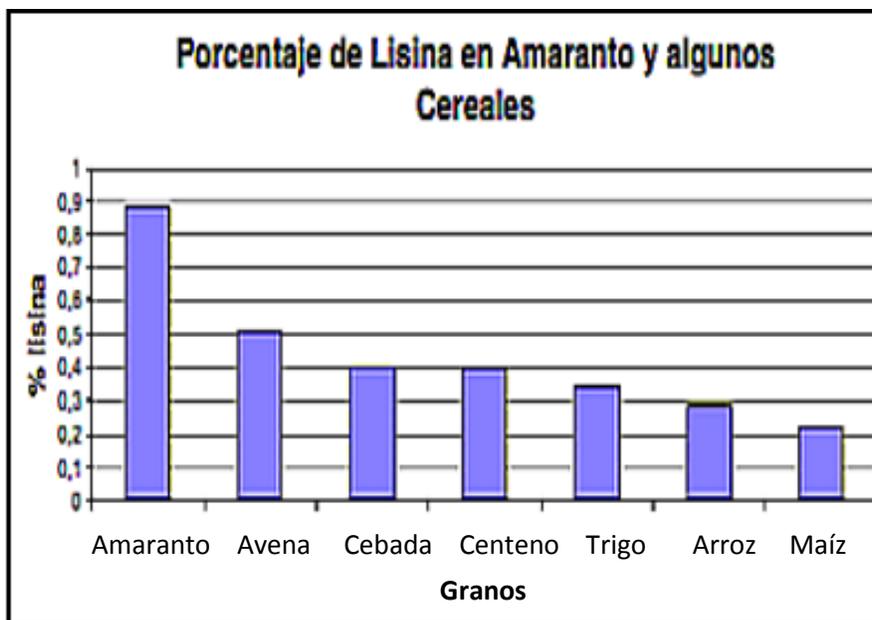
A su relevante proporción proteica se suma su elevado aporte de carbohidratos, dado que el almidón es su mayor componente y representa entre el 50 % y el 60 % de su peso con pequeñas cantidades de sacarosa y rafinosa (García, 2012.), contenido en gránulos relativamente pequeños de entre 1 y 3 micrómetros. También se ha descrito que el almidón de amaranto tiene una baja concentración de amilosa lo cual le confiere la propiedad de ser poco viscoso y muy soluble en agua (Alagara *et al.*, 2016).

El contenido en grasa del grano de amaranto varía entre un 7% y un 8%, (Robles, 2013). Los ácidos grasos más abundantes en el aceite crudo son: ácido linoléico (45%), oleico (29%), palmítico (22%) y en menor cantidad ácido estearico (3%). Se han cuantificado también un 2.8 a 7.8 % de tocoferoles y tocotrienoles. Algo característico y especial de la fracción lipídica del amaranto es su elevado contenido de escualeno que es un hidrocarburo poliinsaturado encontrado abundantemente en el aceite de tiburón y en menor cantidad en algunos aceites vegetales. Se sabe que el amaranto es la especie vegetal que produce la mayor cantidad de escualeno, y se ha estudiado su presencia en al menos 30 especies amaranto, revelando una concentración de entre 10.4 y 73 g/Kg de aceite (Alagara *et al.*, 2016).

Además, los valores del extracto (lípidos), fibra cruda y cenizas, también superan el contenido de los cereales (García, 2012.)

1.2.5 Valor nutricional y beneficios a la salud de las semillas de amaranto

El amaranto es una semilla con un muy alto valor nutritivo por su alto contenido de proteínas, aminoácidos y minerales. La cantidad de proteína de la semilla es mayor que la de los cereales. Contiene más del doble de proteínas que el maíz, arroz y del 60 a 80 % más que el trigo. En cuanto su composición de aminoácidos, contiene el doble de lisina que el trigo y el triple que el maíz y es equivalente a la de leche de vaca (Figura 15) (Salas, 2013); dicho aminoácido colabora en el crecimiento de niños y jóvenes ya que puede incrementar, junto al aminoácido arginina, la producción de la hormona de crecimiento, además participa en el desarrollo muscular, absorción del calcio y en la producción de hormonas, enzimas y anticuerpos. La lisina debe de tenerse en cuenta en casos de osteoporosis ya que ayuda junto a la vitamina C a producir colágeno y con ello la absorción de calcio.



Fuente: Robles, 2013

Figura 15. Porcentaje de Lisina en el amaranto y algunos cereales

Por otra parte, se ha demostrado la producción de péptidos obtenidos del extracto proteico del grano de amaranto debido a la acción enzimática que ocurre durante la digestión principalmente por pepsina y tripsina, dichos péptidos tienen la capacidad de inhibir la enzima HMG-CoA reductasa, que determina en gran parte la velocidad de producción de colesterol, lo que lo hace terapéutico contra dislipidemias y arteroesclerosis. Otras preparaciones proteicas obtenidas de la hidrólisis de albúmina y globulina de la semilla de *Amaranthus hypochondriacus L* han mostrado actividad como inhibidores de la Enzima Convertidora de Angiotensina (ECA) responsable de la producción de la hormona vasoactiva Angiotensina II, dicha inhibición es capaz de disminuir la presión arterial en muchos pacientes debido a la disrupción del eje hormonal renina-angiotensina-aldosterona y es el mecanismo de acción de medicamentos hipotensores como captopril y enalapril. También se han encontrado péptidos derivados de la semilla de amaranto con actividad anticancerígena (Alagara *et al.*, 2016).

Las semillas contienen alto contenido de grasas mono y poliinsaturadas, tales como el ácido linoleico mejor conocidos como aceites Omega-3. Actualmente estos aceites esenciales han cobrado gran interés por los usuarios, debido a sus recientes

descubrimientos sobre los beneficios a la salud y en contra de algunos problemas cardiovasculares. Las semillas de amaranto contienen una buena proporción de estos aceites y representa entre un 6 y 10% de la semilla. La gran variedad de ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados, son de gran importancia para su consumo, sin embargo, destaca la presencia del escualeno la cual representa alrededor del 5-8% del total de aceite (González *et al.*, 2016), el cual presenta diversos beneficios para nuestro organismo: protege de los radicales libres debido a su capacidad antioxidante, es precursor del colesterol fortaleciendo a la membrana celular y presenta acción bactericida y antifúngica (Nardo, 2017).

Se sabe que muchas condiciones patológicas como la diabetes, la aterosclerosis, el Alzheimer y algunos tipos de cáncer se generan en parte por el exceso de sustancias oxidantes en un tejido, lo cual se conoce como estrés oxidativo, en el amaranto se han caracterizado compuestos con actividad antioxidante, el principal componente antioxidante que se ha encontrado en diferentes extractos de amaranto, incluyendo hojas, tallos y semillas, es el Flavonoide Polifenólico Rutina, los antioxidantes son capaces de retardar o prevenir las reacciones de oxidación gracias a su naturaleza secuestrante o reductora, disminuyendo compuestos formados por oxígeno que resultan tóxicos por alterar la función normal celular. (Alagara *et al.*, 2016).

1.2.6 Producción

Durante el periodo 2015- 2016 el estado con mayor producción de amaranto fue el estado de Tlaxcala con 2341 toneladas de las 6052 toneladas producidas durante ese año, seguido del estado de Puebla y México con 2102 y 957 toneladas respectivamente, datos que se pueden observar en la tabla 6.

Tabla 6. Volumen de producción de amaranto en el periodo 2015-1016

UBICACIÓN	PRODUCCIÓN (ton)
Tlaxcala	2341
Puebla	2102
México	957
Morelos	340
CDMX	206
Oaxaca	98
Hidalgo	6
Resto	2
Total	6052

Fuente: SAGARPA, 2017

Según el Atlas Agroalimentario del 2017 se cubrió con la demanda del cereal para México lo que permitió exportar 41 toneladas, donde poco más del 60% se dirigió hacia el mercado chileno.

1.3 Superalimento

Un superalimento es aquel alimento que no se ha sido sometido a proceso, que por sus características nutricionales supera los aportes proporcionados por otros alimentos naturales, debido a que en porciones pequeñas aporta mayor calidad y cantidad de nutrientes que son esenciales para el ser humano (Torres, 2016).

Los superalimentos son nutricionalmente los alimentos más densos en el planeta y se han utilizado durante miles de años por los pueblos indígenas para sanar la mente y el cuerpo.

La chía y el amaranto se encuentran dentro de los superalimentos (Figura 16) ya que son semillas con alto valor nutricional destacando su calidad proteica compuesta de aminoácidos esenciales donde el amaranto sobresale por el contenido de lisina, así mismo aportan grasa donde la chía presenta mayor porcentaje, sin embargo, ambos contienen ácidos grasos poliinsaturados de los cuales en la chía destacan el linolenico, linoleico y en el amaranto oleico y linoleico por estar en mayor porcentaje y además tiene escualeno, por su parte se hace presente el contenido de fibra en mayor cantidad en la chía , además de poseer compuestos antioxidantes en ambas semillas.



Fuente: BIOECO, 2016

Figura 16. La chía y el amaranto dentro de los superalimentos

1.4 Alimentos funcionales

Los alimentos funcionales son aquellos que contienen componentes biológicamente activos que ejercen efectos beneficiosos y nutricionales básicos en una o varias funciones del organismo y que se traducen en una mejora de la salud o en una disminución del riesgo de sufrir enfermedades. Estos alimentos más allá de satisfacer las necesidades nutricionales proporcionan beneficios fisiológicos por lo que se emplean como estrategia potencial en la prevención de enfermedades crónicas (Fuentes *et al.*, 2015).

Los consumidores están cada vez más conscientes de su autocuidado y buscan en el mercado aquellos productos que contribuyan a su salud y bienestar, por lo que el centro del interés actual se ubica en la relación entre la alimentación y las enfermedades crónicas no transmisibles y los efectos de la nutrición sobre las funciones cognitivas, inmunitarias, capacidad de trabajo y rendimiento (Araya y Lutz, 2003).

La chía se considera alimento funcional ya que tiene alto contenido de ácidos grasos como el omega 3, fibra dietética, aminoácidos esenciales, compuestos fenólicos antioxidantes, almidón resistente y digerible; componentes que, además de ser indispensables en el buen funcionamiento celular son buenos para prevenir enfermedades crónicas degenerativas como las cardiovasculares o el cáncer (Carrillo *et al.*, 2017).

El amaranto presenta algunas propiedades para ayudar a mantener la salud, el valor nutritivo de sus granos implica que además de su contenido proteico, el espectro de aminoácidos y los niveles de vitaminas y minerales son excelentes (Mapes, 2015), además contiene componentes que tienen un impacto directo en la salud como por ejemplo: almidón resistente y digerible, fibra dietética compuestos fenólicos como antioxidantes, además de ser la especie vegetal que produce la mayor cantidad de escualeno, cuyos efectos estudiados son: la capacidad para reducir el colesterol plasmático, su efecto hipoglucemiante, su capacidad para regular la presión arterial, su influencia en el fortalecimiento y regulación del sistema inmune, su efecto anticancerígeno y su efecto antioxidante, entre otros (Alagara *et al.*, 2013).

1.5 Componentes funcionales

La chía y el amaranto son alimentos los cuales en sus componentes químicos contienen compuestos que son funcionales ya que tienen un efecto positivo directamente en la salud del ser humano.

Un componente funcional puede ser un macro nutriente con un efecto fisiológico específico o un micro nutriente esencial, pero también puede ser un componente alimenticio que, aunque no tenga un alto valor nutritivo o no sea esencial, su consumo logre la modulación de alguna función en el organismo que reduzca el riesgo de enfermedad, como es el caso de la fibra y algunos microorganismos viables (Sarmiento, 2006). Este tipo de compuestos que no son nutrientes, pero tienen propiedades saludables, entre los cuales se encuentran los fitoquímicos, compuestos que en su gran mayoría son antioxidantes y que incluso pueden tener efectos sinérgicos con algunos nutrientes. Si bien no ejercen un rol nutricional, puesto que no se trata de sustancias indispensables para el organismo, su consumo

supone una protección adicional contra la acción nociva de sustancias provenientes de la dieta y del entorno ambiental y que afectan la salud de la población. A este efecto de retardar y/o suprimir procesos dañinos como la carcinogénesis a través de los alimentos que contienen carotenoides, polifenoles, vitaminas antioxidantes fibra dietética y otros fitoquímicos de efectos bioquímicos comprobados se le denomina en conjunto quimiopreención (Araya y Lutz, 2003).

Algunos componentes funcionales son los siguientes:

1.5.1 Fibra dietética

Las fibras dietéticas (celulosas, hemicelulosas y pectinas resistentes a la digestión por las enzimas endógenas del intestino humano) benefician las funciones gastrointestinales y se sugiere que previenen enfermedades como el cáncer colorectal, obesidad, diabetes mellitus y arteriosclerosis. Además, estas fibras favorecen directamente a las bacterias del género *Bifidobacterium* (consideradas de gran beneficio en el intestino) aumentando su población (Sarmiento, 2006).

Ayuda a regularizar el tránsito intestinal, reduce los lípidos, la glucemia en diabéticos, entre otros beneficios. Por ello se utiliza como apoyo en los tratamientos para la pérdida de peso. Se ha demostrado que el consumo de harina de chíca disminuye el sobre peso, disminución de cintura y mejoramiento de perfil lipídico disminuyendo el colesterol total, aumentando el colesterol HDL (lipoproteína de alta densidad), además de mantener los niveles de glucosa, triglicéridos y colesterol LDL (lipoproteína de baja densidad) (Carrillo *et al.*, 2017).

1.5.2 Almidón total, digerible y resistente

El almidón es una mezcla de amilosa y amilopectina, cuya proporción determina sus propiedades fisicoquímicas, como la formación de almidón resistente por retrogradación, lo que determina su potencialidad de aprovechamiento en ciertos procesos industriales, ya que los almidones con un alto contenido de amilosa poseen mayor capacidad de retrogradación, por tanto, mayor potencial de formar almidones resistentes (Jiménez *et al.*, 2011). La amilosa es un polímero lineal de unidades de glucosa, unidas por enlaces $\alpha(1-4)$, en el cual algunos enlaces $\alpha(1-6)$

pueden estar presentes, esta molécula no es soluble en agua, pero puede formar micelas hidratadas por su capacidad para enlazar moléculas vecinas por puentes de hidrógeno y generar una estructura helicoidal; mientras que la amilopectina es un polímero ramificado de unidades de glucosa unidas de 94 a 96% por enlaces $\alpha(1-4)$ y de 4 a 6% con uniones $\alpha(1-6)$, dichas ramificaciones se localizan, aproximadamente, entre 15 a 25 unidades de glucosa (Martínez, 2015).

Desde el aspecto nutricional, el almidón se divide en dos fracciones, almidón digerible y almidón resistente: El almidón digerible es el que se puede degradar enzimáticamente liberando monómeros de glucosa que son absorbidos en el tracto intestinal proporcionando energía al cuerpo. El almidón total es la suma del almidón digerible y el almidón resistente (Martínez, 2015).

El almidón resistente se define como la cantidad total de almidón y los productos de la degradación del almidón que resisten la digestión en el intestino delgado. En el colon son fermentados por la microbiota intestinal donde producen una variedad de productos que incluyen ácidos grasos de cadena corta que pueden proporcionar una gama de beneficios fisiológicos (Rivera *et al.*, 2018).

Las ventajas tecnológicas de este almidón están explicadas en investigaciones previas (Villaruel *et al.*, 2018) por su microestructura, que permite obtener productos con una mejor textura, sin afectar las características de sabor, olor y color del alimento. Desde el punto de vista fisiológico, el almidón resistente es capaz de modular la cinética de digestibilidad de los nutrientes, lo que posibilita su incorporación en el diseño de productos con menor índice glucémico y menor poder energético. La modulación del metabolismo de la glucosa y los lípidos, así como las posibles asociaciones con la salud de la microbiota, indican que el almidón resistente podría ser un componente con un gran potencial en el tratamiento de enfermedades crónicas. Además, en dicha investigación se subdivide al almidón resistente en cinco categorías con base en la naturaleza del almidón y su localización en los alimentos:

Tipo 1: se compone de gránulos de almidón rodeados por una matriz indigerible, es almidón físicamente inaccesible. Componente estable al calor en la mayoría de las operaciones normales de cocción, permitiendo su uso como ingrediente en una amplia variedad de alimentos convencionales. De manera natural se encuentra en granos enteros y legumbres.

Tipo2: está representado por gránulos de almidón resistente a la digestión enzimática, ya que en los gránulos de almidón crudo la estructura compacta limita la accesibilidad de las enzimas digestivas.

Tipo 3: almidón retrogradado formado durante el enfriamiento del almidón que ha sido procesado, pero también se puede obtener almidón retrogradado por recristalización durante el almacenamiento. Los principales factores que determinan la retrogradación y que, por tanto, podrían influir en el contenido de AR son la composición del almidón, el producto de la matriz y el contenido de humedad

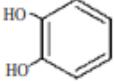
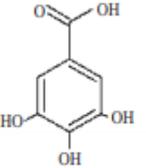
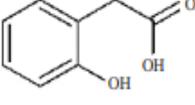
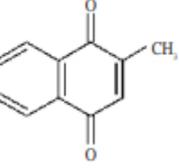
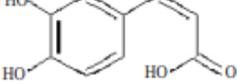
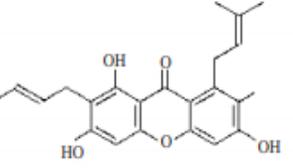
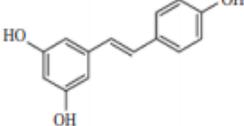
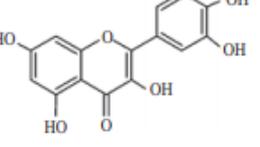
Tipo 4: almidones modificados químicamente, donde nuevos enlaces químicos son formados a través de esterificación, reticulación o transglicosilación y no pueden descomponerse, ya que el proceso de modificación hace que la estructura sea inaccesible a la digestión por amilasas.

Tipo 5: consiste en complejos lípido-amilosa que se forman cuando la amilosa y las largas cadenas ramificadas de amilopectina interactúan con ácidos grasos y alcoholes

(Villarroel *et al.*, 2018)

1.5.3 Fenoles

Los compuestos fenólicos son metabolitos secundarios de las plantas que poseen en su estructura al menos un anillo aromático al que está unido uno o más grupos hidroxilo, se clasifican como ácidos fenólicos, flavonoides y taninos (Figura 17). Existen alrededor de 8.000 compuestos polifenólicos identificados y la mayoría de estos poseen una estructura de 3 anillos, dos aromáticos (anillos A y B) y uno heterociclo oxigenado (anillo C) (Mercado *et al.*, 2013).

Clase	Estructura	Ejemplo	Clase	Estructura	Ejemplo
Fenoles simples	C_6	 Catecol	Ácidos hidroxibenzoicos	C_6-C_1	 Ácido gálico
Ácidos fenilacéticos	C_6-C_2	 Ácido 2-hidroxi-fenilacético	Naftoquinonas	C_6-C_4	 Menadiona
Ácidos hidroxicinámicos	C_6-C_3	 Ácido caféico	Xantomas	$C_6-C_1-C_6$	 Mangostina
Estibenos	$C_6-C_2-C_6$	 Resveratrol	Flavonoides	$(C_6-C_3-C_6)$	 Quercetina

Fuente: Mercado *et al.*, 2013

Figura 17. Clasificación general de los compuestos fenólicos

El ácido fenólico más simple es el ácido gálico, un trifenol que contiene además un grupo carboxilo. Los flavonoides más representativos son el kempferol, la quercetina y la miricetina, poseen un gran número de grupos hidroxilos formando glicósidos, son polares, por lo que son ligeramente solubles en disolventes polares, como el metanol, etanol, acetato de etilo o agua. Los taninos de acuerdo a su comportamiento frente a los agentes hidrolíticos (principalmente ácidos minerales diluidos), los podemos dividir en: hidrolizables y condensados. Los taninos hidrolizables, constituidos generalmente por una molécula de un monosacárido (glucosa en la mayoría de los casos) a la cual se unen varias unidades de ácidos polifenólicos. Los taninos condensados, resultan de la condensación (polimerización) de unidades de flavanoles, tales como la catequina y la leucocianidina, quienes cumplirían el papel de precursores (Venegas, 2012).

Los compuestos polifenólicos son sustancias biológicamente activas y existen numerosas evidencias, epidemiológicas, estudios *in vitro*, estudios en modelos animales e intervenciones en humanos, que indican que estos compuestos proporcionan un beneficio al organismo en contra diversas enfermedades. Entre las propiedades benéficas de los fenoles están su capacidad antioxidante, la protección contra lesiones celulares y subcelulares, inhibición del crecimiento de tumores, activación de los sistemas de detoxificación hepáticos y bloqueo de las vías metabólicas que pueden ocasionar carcinogénesis (Mercado *et al.*, 2013).

1.5.4 Capacidad antioxidante

Los antioxidantes son sustancias existentes en determinados alimentos que actúan protegiendo al organismo de la acción de los radicales libres, causantes de los procesos de envejecimiento y de algunas otras enfermedades. Los radicales libres son moléculas con átomos que tienen un electrón en capacidad de aparearse, por lo que son muy reactivos. Estos radicales recorren el organismo intentando captar un electrón de las moléculas estables, con el fin de lograr su estabilidad electroquímica y con potenciales reacciones en cadenas destructoras de las células del cuerpo. Los antioxidantes retrasan el proceso de envejecimiento combatiendo la degeneración y muerte de las células que provocan los radicales libres. La incapacidad del cuerpo humano para neutralizar a los radicales libres a los que está expuesto diariamente, obliga al hombre a recurrir a alimentos con las propiedades antioxidantes con capacidad de neutralizarlos (Gutiérrez *et al.*, 2017). Los fitoquímicos bioactivos neutralizan a las especies reactivas al oxígeno, responsables de la degradación de biomoléculas necesarias para el buen funcionamiento del organismo. La capacidad antioxidante de un producto está determinada por interacciones entre diferentes compuestos con diferentes mecanismos de acción (Hernández, 2016).

1.6 Almacenamiento de granos o semillas

Se utiliza el término de grano cuando se destinan para la alimentación humana y animal, o como materia prima para la industria; mientras que el término de semilla se utiliza para indicar su uso en la siembra, reproducción y multiplicación de la especie o variedad (Hernández y Caballo, 2017)

El objetivo del almacenamiento es que los granos o semillas conserven su valor económico, alimenticio, agrícola e industrial, por lo que se requiere de un cuidado especial durante su almacén para mantener su calidad. Condiciones que deben permanecer durante el periodo de almacenamiento y aún hasta el momento que van a ser utilizados (Hernández y Caballo, 2017).

Almacenamiento se refiere a concentrar la producción en lugares estratégicamente seleccionados; en tanto que la conservación implica proporcionar a los productos almacenados las condiciones necesarias para que no sufran daños por la acción de plagas, enfermedades o del medio ambiente, evitando así mermas en su peso, reducciones en su calidad o en casos extremos la pérdida total (Hernández y Caballo, 2017).

En el mundo, las pérdidas durante la poscosecha pueden constituir la primera preocupación de cualquier agricultor, puesto que se calcula cifras de mermas entre un 5 y un 15% en países desarrollados y de un 20 a un 50 % en países en desarrollo. El porcentaje de pérdida depende también del área o región de donde se producen los granos y semillas, en la tabla 7 se muestran los resultados obtenidos del CIMMYT en el 2009. (Ramírez, 2014)

Tabla 7. Porcentaje de pérdida de granos según el área

Área/región	% de pérdida
Seco	<5%
Subtropical	10 y 20%
Tropical	20 a 40%

Fuente: Ramírez, 2014.

1.6.1 Especificaciones durante el almacenamiento

- No deben almacenarse en la misma bodega cereales con concentraciones mayores de 20 µg/kg de aflatoxinas.
- Durante la recepción, el grano debe ser secado a la brevedad hasta alcanzar una humedad menor o igual 14,5 %, misma que se debe conservar o disminuir durante todo el tiempo que permanezca almacenado.
- Los cereales no podrán estar en contacto directo con el piso

(NOM-247-SSA1-2008).

1.6.2 Métodos de almacenamiento de granos o semillas

1.6.2.1 Almacenamiento en sacos

Los sacos se hacen de yute, henequén, fibras locales y sintéticas. Son relativamente costosos, tienen poca duración, su manipulación es lenta y no proporcionan buena protección contra la humedad, insectos y roedores (Figura 18). Su rotura ocasiona pérdidas del producto almacenado y facilita la infestación por plagas. (Hernández y Caballo, 2017).



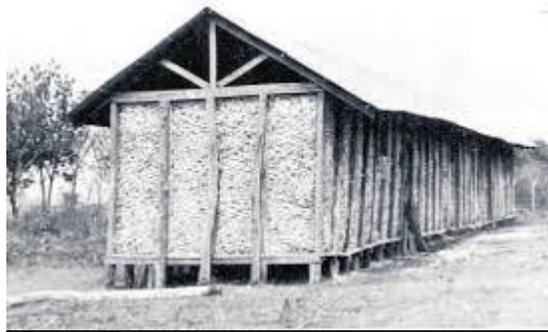
Fuente: MINERVA NATURA, 2019; PROGRAMA ECOAMARANTO, 2014

Figura 18. Semillas de chía y amaranto en sacos

1.6.2.2 Almacenamiento a granel

Este método tiene la ventaja que es mecanizarlo, aunado a que la manipulación de granos y semillas es rápida. Por el contrario, la posibilidad de ataque por roedores aumenta y hay poca protección contra la reinfestación (Hernández y Caballo, 2017).

Las bodegas deben ser edificios provistos de paredes, pisos y puertas, techados o que puedan ser cubiertos, en los que no deben existir goteras, nidos, fisuras o puertas en mal estado (Figura 19). Así mismo deben contar con termopares y estar colocados en diferentes puntos del almacén para el monitoreo de la temperatura. (NOM-247-SSA1-2008).



Fuente: Hernández y Caballo, 2017

Figura 19. Almacenamiento de semillas a granel o en sacos

1.6.2.3 Almacenamiento hermético

Consiste en almacenar el producto en recipientes que evitan la entrada de aire y humedad al producto (Figura 20). En estas condiciones, la respiración de la semilla y de los insectos (cuando los hay) agota el oxígeno existente, provocando la muerte de estos últimos y la reducción de la actividad de la semilla, por lo que el almacenamiento puede durar mucho tiempo sin que exista deterioro. El nivel de humedad de los granos o semillas por almacenar debe ser menor del 9%. (Hernández y Caballo, 2017).



Fuente: García *et al.*, 2007

Figura 20. Silos herméticos

1.6.3 Presencia de insectos, hongos y bacterias

Generalmente los insectos de granos almacenados están fuertemente influenciados por la temperatura y por la humedad del grano. Ya que la temperatura influye de manera directa en el metabolismo y fisiología del insecto, las temperaturas óptimas de desarrollo están entre 25 a 27 °C. Por otra parte, con temperaturas superiores a los 45 °C, los insectos tienden a morir, mientras que a temperaturas inferiores a 15 °C la fecundidad se reduce, mientras que en temperaturas inferiores a 10 °C tienden a morir los adultos, los huevecillos se conservan bien. Por lo general, las humedades relativas propicias para el desarrollo de los insectos oscilan entre 70 a 85% para la mayoría de los insectos (Vázquez y Moreno, 2016).

Los hongos de almacén son aquellos que pueden desarrollarse con contenidos de humedad en los granos en equilibrio con humedades relativas entre 65 a 90%, generalmente son de los géneros *Aspergillus* y *Penicillium*, dichos hongos generan daños irreversibles al grano, como es la reducción del poder germinativo, ennegrecimiento total o parcial del grano, calentamiento y mal olor de los granos, cambios bioquímicos degenerativos, pérdida de peso del grano e inclusive la producción de mico toxinas que afectan al ser humano. La presencia de hongos es señal del deterioro de la semilla medida que este deterioro se incrementa, el contenido de humedad se eleva o si se tienen humedades relativas altas pueden aparecer otras especies de hongos como *Aspergillus flavus*. El principal factor intrínseco que gobierna la capacidad para llevar a cabo tal deterioro es la actividad de agua del sustrato, que es la cantidad de agua disponible para el desarrollo de los microorganismos una vez que se ha alcanzado el equilibrio en el sistema alimento/medio ambiente, y se define como la presión de vapor acuoso del sustrato dividido por la presión de vapor de agua pura a la misma temperatura (Gimeno, 2002).

Las bacterias generalmente se presentan cuando el grado de deterioro ya es avanzado debido a que requieren una alta cantidad de compuestos que ya han sido degradados para su alimentación y reproducción además de una alta humedad

tanto propia del grano como del ambiente. La mayor parte de las bacterias requieren niveles de a_w de 0.95 para llevar a cabo un buen crecimiento y niveles mayores de 0.98 para un crecimiento óptimo (Vázquez y Moreno, 2016).

1.7 Deterioro de semillas

El grano o la semilla son entes vivientes que respiran oxígeno del ambiente y producen como resultado bióxido de carbono, agua y energía que se traduce en calor; consecuentemente, en la medida en que se acelere el proceso de la respiración, lo hará también el deterioro del grano o la semilla (Hernández y Caballo, 2017).

Durante el almacenamiento ocurre el fenómeno de la respiración, causada por el propio grano, dando origen a actividades metabólicas de los seres vivos allí presentes, produciendo energía y agua, que tienden a acumularse en el propio lugar donde se generaron, formando focos de calentamiento que son los primeros indicios de un proceso deteriorativo del producto almacenado (Hernández *et al.*, 2009).

1.7.1 Principales factores que influyen en el deterioro de las semillas

Los principales factores (Hernández y Caballo, 2017) que determinan y acentúan las pérdidas de granos y semillas en el almacén, son:

- Altos contenidos de humedad del producto almacenado.
- Elevada temperatura y/o humedad en el ambiente.
- Elevado porcentaje de impurezas mezcladas en granos y semillas, por ejemplo; granos o semillas quebradas, restos de plantas, insectos muertos y tierra.
- Carencia de almacenes adecuados.

1.7.1.1 Altos contenidos de humedad del producto almacenado.

Vázquez y Moreno (2016), refieren que el contenido de humedad del grano está en función directa de la humedad relativa y temperatura ambiental, esto es debido a la capacidad higroscópica del grano, al tener la capacidad de ceder o ganar humedad de acuerdo a las condiciones ambientales que se presenten.

Además, mencionan que el contenido de humedad es más importante que la temperatura del grano, ya que la humedad es muy significativa en el metabolismo propio del grano, porque en niveles de 15% en los cereales se activan los metabolismos de los carbohidratos, lípidos y proteínas reduciendo su capacidad nutrimental

Finalmente, por cada uno por ciento que reduzcamos el contenido de humedad del grano duplicamos el tiempo de almacenamiento, esto es válido hasta el rango de 14% de humedad.

1.7.1.2 Elevada temperatura y/o humedad en el ambiente.

La humedad relativa y la temperatura son los dos factores ambientales de mayor importancia en la conservación, si estos son altos el deterioro se manifestará rápidamente, sin embargo, si estos son bajos, se prolonga la calidad del grano (Vázquez y Moreno, 2016).

Si la humedad relativa y temperatura del lugar donde se está almacenado alguna semilla o grano es alta, se acelera su deterioro, ya que a elevadas temperaturas y humedades relativas se proporciona las condiciones adecuadas para que se desarrollen mayores poblaciones de insectos. Al aumentar la población de insectos se producirá mayor calor y humedad y así sucesivamente; favoreciéndose el desarrollo de hongos y bacterias; acentuándose, por lo tanto, la severidad de los daños ocasionados hasta el grado de que el grano ya no sea útil para consumirlo o que la semilla muera o reduzca su germinación y vigor (Hernández y Caballo, 2017). Por cada 10 °F (5.556 °C) que reduzcamos la temperatura de almacenamiento, duplicamos el tiempo de almacenamiento, esto es válido hasta el rango de 45 °C.

1.7.1.3 Materia extraña

Las impurezas incrementan la posibilidad de que exista una contaminación de los granos sanos ya que dentro de las impurezas están los granos quebrados y en estos se pueden establecer insectos los cuales utilizan los nutrientes del grano tanto para su alimentación como para su reproducción. Y esto desencadena en aumentar factores de deterioro como aumento de temperatura en ciertos puntos denominados focos de calor y así también un aumento en la temperatura.

Según la NOM-247-SSA1-2008 los granos que serán almacenados en cuanto a materia extraña, en su muestreo no deben de ser más de 50 fragmentos de insectos, no más de un pelo de roedor y estar exentos de excretas, en 50 g de producto.

1.7.1.4 Carencia de almacenes adecuados.

Debido a que la chía y el amaranto son cultivos que actualmente se están retomando en cuanto a producción y la obtención de subproductos, por su gran aporte nutricional comparado con otros cereales, es importante mencionar que su almacenamiento, en la mayoría de los casos, no es el adecuado ya que la infraestructura de almacén no proporciona las condiciones adecuadas para controlar su deterioro (Figura 21). Para una buena conservación, las semillas se deben almacenar en lugares secos con materiales aislantes que permitan el control de humedad y temperatura del lugar, además de que las semillas deben tener una humedad baja, que se consigue con un tratamiento térmico previo al almacenamiento. Como se observa estas condiciones no son fáciles de conseguir y menos con pequeños productores, por lo tanto, puede resultar un problema importante para estos cultivos.



Fuente: Ramírez, 2014

Figura 21. Almacenamiento inadecuado de granos

1.7.2 Efecto del deterioro sobre los granos

El componente más importante en el deterioro del grano es la pérdida de materia seca, los hongos aceleran la respiración aeróbica del grano consumiendo carbohidratos, grasas y proteínas. La pérdida de materia seca está en directa relación a las condiciones de temperatura y humedad durante el almacenamiento. A mayor temperatura y humedad de almacenamiento se acelera la pérdida de materia seca del grano (Bolívar, 2007).

Al permanecer el grano en condiciones inadecuadas para su conservación, provoca daños en la integridad del mismo dañando cada vez más las membranas celulares, exponiendo y aumentando la pérdida de macromoléculas y compuestos que a su vez se degradan por acción enzimática ya sea del grano o de hongos provocando una aceleración en su deterioro (Blanco *et al.*, 2016). La pérdida de la integridad de las membranas y la subsiguiente pérdida de los solutos citoplasmáticos con propiedades electrolíticas y así la disminución de la germinación son indicativas de un rápido deterioro de las semillas (De la Cruz, 2018).

De acuerdo con investigaciones anteriores (De la Cruz, 2018), se comprobó que el deterioro de las semillas de chíá tiene un efecto en su calidad nutrimental principalmente disminuyendo los lípidos y proteínas, ésta pérdida pudiera asociarse a la degradación de aminoácidos y la peroxidación de grasas por una posible generación de estrés oxidativo en los tiempos de almacenamiento prolongado a condiciones inadecuadas. Aunado a lo anterior se vieron afectados factores

nutrimentales, presentando una disminución en su contenido de triptófano y en su digestibilidad *in vitro*.

Por otro lado, el deterioro en las semillas de amaranto provocado por un almacenamiento inadecuado tuvo efecto sobre su calidad nutricional, disminuyendo el contenido de fibra y un aumento en el contenido de grasa conforme avanzan los días de deterioro debido al daño de las membranas celulares y la degradación de la pared celular provocada por enzimas que se activaron por el aumento de humedad en el grano o por degradación provocada por los hongos presentes en los últimos días de deterioro. Aunado a esto, tuvo una disminución en su digestibilidad y en el contenido de triptófano (Martínez-Manrique y Jiménez-Vera, 2016).

Pero el efecto que tiene el deterioro por un almacenamiento inadecuado sobre los componentes funcionales de estas dos semillas (chía y amaranto), no se ha estudiado, y se considera importante ya que son semillas que tienen un alto valor como alimentos funcionales.

Es por eso que en este trabajo se evaluará el efecto del deterioro de las semillas de chia y amaranto provocado por un almacenamiento inadecuado sobre sus componentes funcionales, ya que es importante detectar la alteración provocada en dichos componentes que tienen funcionalidad en los alimentos y en el organismo del ser humano.

CAPITULO 2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

2.1 Objetivos

2.1.1 Objetivo general

Evaluar el efecto del deterioro de chía (*Salvia hispanica L.*) y amaranto (*Amaranthus hypochondriacus L.*) provocado por un almacenamiento inadecuado sobre su potencial nutraceutico (actividad antioxidante, fenoles, fibra dietética almidón total y resistente).

2.1.1.1 Objetivos particulares

Objetivo particular 1

Evaluar el deterioro de las semillas de chía y amaranto, durante diferentes tiempos de almacenamiento a 75 %HR y 40 °C, mediante pruebas de humedad, germinación y conductividad, para la obtención unidades experimentales deterioradas y su posterior análisis.

Objetivo particular 2

Evaluar el efecto del deterioro de semillas de chía provocado por un almacenamiento inadecuado mediante métodos específicos para determinar la alteración sobre sus componentes funcionales (actividad antioxidante, fenoles, fibra dietética, almidón total y resistente).

Objetivo particular 3

Evaluar el efecto del deterioro de semillas de amaranto provocado por un almacenamiento inadecuado mediante métodos específicos para determinar la alteración sobre sus componentes funcionales (actividad antioxidante, fenoles, fibra dietética, almidón total y resistente).

2.2 Cuadro metodológico

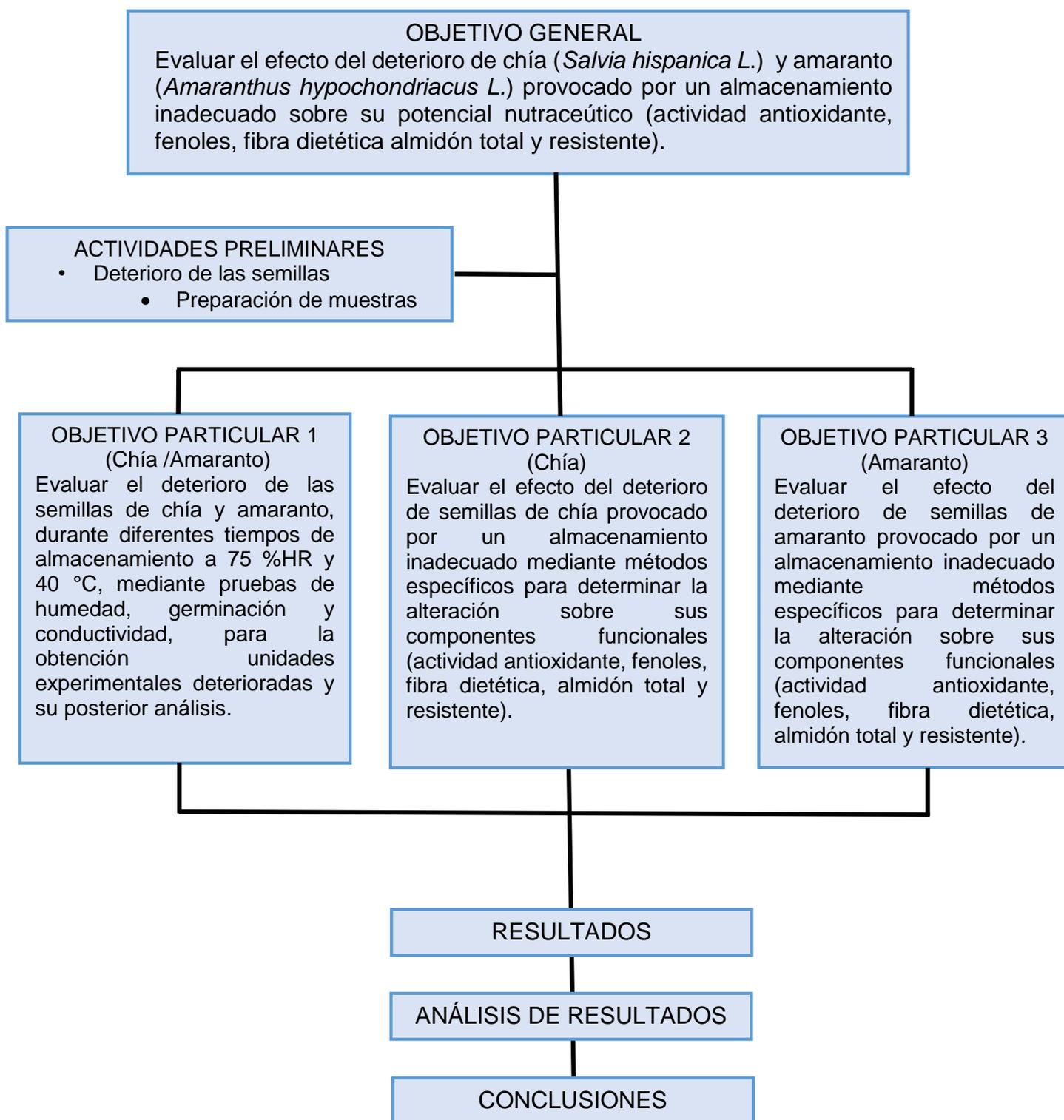


Figura 22. Cuadro metodológico

2.3 Metodología

2.3.1 Material biológico

Para el desarrollo del trabajo se utilizaron semillas de chía (*Salvia hispanica L.*) y amaranto (*Amaranthus hypochondriacus L.*), cosechadas en Puebla, 2016 y en Tulyehualco, 2018 respectivamente.

2.3.2 Deterioro de las semillas

Para un deterioro acelerado de las semillas de chía y amaranto se almacenaron en recipientes herméticos en donde en la parte inferior se colocó una solución de NaCl (39.2 g de sal de grano en 100 mL) de agua destilada y en la parte superior se colocaron las semillas en una malla de plástico de tal manera que no existiera contacto con la solución. Posteriormente se mantuvieron a temperatura de 40°C durante diferentes periodos de almacenamiento (9, 18, 27, 36, 45 y 56 días), además de un control de cero días de almacenamiento. Después se tomaron muestras de cada periodo y se colocaron en recipientes con tapa y se mantuvieron a 8°C hasta su análisis.

2.3.3 Evaluación del grado de deterioro de las semillas

2.3.3.1 Humedad

La humedad se determinó por el método de sólidos totales, empleado un horno de secado (925.009, AOAC, 2005).

Cuando un producto es sometido a secado en condiciones específicas, presenta una pérdida de peso, debido a la evaporación del agua que contiene, la cual se reporta como valor de humedad. Para esta determinación se requiere que la muestra sea estable y no contenga compuestos volátiles.

Se pesaron 1.8g de semillas las cuales se distribuyeron uniformemente en cápsulas de aluminio las cuales fueron secadas en estufa con circulación forzada durante 72h a 103°C. Posteriormente se llevaron las muestras a temperatura ambiente en un

deseCADOR para poder determinar su peso. Dicho procedimiento se realizó por triplicado para cada muestra analizada. El cálculo para determinar el porcentaje de humedad en base seca de las semillas se hizo con la ecuación:

$$\%H = \frac{W_h - W_s}{W_s} \times 100 \quad \dots\dots\dots \text{ec. (1)}$$

donde:

W_h : peso de la muestra antes del secado (g)

W_s : peso de la muestra después del secado (g)

2.3.3.2 Capacidad de germinación

La prueba de germinación se realizó con base en las Reglas de Análisis de Semillas (Seed Testing Association, 1996). Se realizó por triplicado, colocando 50 semillas por caja Petri, manteniendo una temperatura de 25 °C durante tres días, hidratándolas con agua destilada cada 24 horas, al finalizar la prueba se contaron las semillas con germinación y los resultados se expresaron en porcentaje.

2.3.3.3 Conductividad

La conductividad eléctrica se determinó con base en el Manual de Pruebas de Vigor (International Seed Testing Association, 1995). Se realizó por triplicado, colocando de cada muestra 0.9g de semillas en matraces de 125 mL, con 20 mL de agua destilada durante un periodo de inmersión de 24 horas. Posteriormente se añadieron 20 mL en intervalos de 10 mL cada 30 minutos, transcurrida una hora se midieron los valores de conductividad eléctrica con un conductímetro marca Conment 1 modelo HI 3291

2.3.4 Componentes funcionales

2.3.4.1 Preparación de la muestra

Para la determinación de los componentes funcionales, los métodos específicos a utilizar requieren que las semillas se sometan a molienda, se realizó en un molino de cuchillas, una vez obtenida la harina integral de las semillas que paso en malla No.40 USA, fue necesario retirar humedad y grasa, lo cual se realizó mediante el método de solidos totales (925.009, AOAC, 2005) y el método Soxhlet (920.39, AOAC, 2005) respectivamente.

Para ello, se pesaron muestras de 3g de harina integral de las semillas y se colocaron en cajas de aluminio, en seguida se introdujeron a la estufa durante 1 hora a 130°C, transcurrido el tiempo se dejaron enfriar en un desecador. Posteriormente para obtener las muestras desengrasadas se colocaron muestras sin humedad en papel, los cuales se colocaron en cartuchos de celulosa, después se pusieron en el equipo de extracción, en donde el hexano extrajo la grasa de las muestras durante 3 horas, finalmente se dejaron secar en un desecador, quedando así muestras libres de humedad y grasa para su posterior análisis.

2.3.4.2 Fibra dietética

El contenido de fibra dietética se determinó mediante una correlación entre métodos enzimáticos y gravimétricos (AOAC, 1995).

El método se basa en que los alimentos secos y libres de grasa son gelatinizados con alfa amilasa estable al calor y posteriormente digeridas enzimáticamente con proteasa y amiloglucosidasa para eliminar la proteína y almidón presentes en la muestra. Se adiciona etanol para precipitar la fibra dietaria soluble. Los residuos son filtrados y lavados con etanol y acetona. Posteriormente es necesario determinar proteína y cenizas.

Para ello se pesaron dos muestras de 1g cada una, a los cuales se les añadió buffer de fosfatos 0.08M; posteriormente se agregó α -amilasa, y se colocaron en un baño a ebullición con agitación, se dejaron enfriar. Después se les agregó NaOH 0.275N y proteasa, se dejan en baño a 60 °C con agitación continua. Posteriormente se les agregó HCl 0.325N y amiloglucosidasa, se introdujeron en el baño a 60 °C con agitación continua. Se transfirieron a matraces con etanol previamente calentado y se dejaron reposar a temperatura ambiente durante una hora. Finalmente se filtró, se realizaron tres lavados al residuo, primero con etanol al 78%, seguido de etanol al 95% y por último de acetona, una vez concluidos los lavados se secaron los papeles en la estufa durante toda la noche a 105 °C. Finalmente se dejaron enfriar en un desecador y después se pesaron, uno de los papeles se colocó en un crisol para obtener cenizas y del otro papel se obtuvo muestra necesaria para determinar proteínas, dichas determinaciones son necesarias para calcular el porcentaje de fibra dietética, dicho porcentaje se obtuvo mediante la ecuación 2:

$$\%FD = \left(\frac{\text{residuo (mg)} - \text{cenizas (mg)} - \text{proteína(mg)} - \text{blanco (mg)}}{\text{peso de muestra (mg)}} \right) \times 100 \dots \dots ec. (2)$$

Donde:

Residuo = papel con muestra (mg) – papel sin muestra (mg)

Cenizas= crisol con muestra (mg)- crisol sin muestra (mg)

Proteína=[((mLHCl gastado)(Normalidad del HCl)(0.014))*Factor] (mg)

Blanco= \bar{x} del residuo del blanco (mg) + \bar{x} de proteína del blanco (mg) + \bar{x} de cenizas del blanco (mg)

2.3.4.2.1 Cenizas

Las cenizas se determinaron mediante el método de incineración (923.03, AOAC, 2002).

El método se basa en la destrucción de la materia orgánica presente en la muestra por calcinación y determinación gravimétrica del residuo.

Uno de los papeles que se obtuvieron de la determinación de fibra dietética se colocó en un crisol el cual previamente se puso a peso constante, durante aproximadamente dos horas en la mufla a 600°C, posteriormente se incineró con un mechero en la campana hasta que no se desprendió humo y después se introdujo a la mufla a 550°C durante dos horas hasta que se obtuvieron cenizas blancas o grisáceas, finalmente se dejó enfriar en un desecador y finalmente se pesó.

$$\%Cenizas = \frac{\text{masa del crisol con muestra calcinada (g)} - \text{masa del crisol (g)}}{\text{masa del crisol con muestra (g)} - \text{masa del crisol (g)}} \dots \dots ec. (3)$$

2.3.4.2.2 Proteína

El contenido de proteína se determinó mediante el método de Micro Kjeldahl (954.01, AOAC, 2002).

El método se basa en tres etapas: digestión, destilación y valoración. En la primera el ácido sulfúrico concentrado, en presencia catalizadores metálicos y calor convierte el nitrógeno orgánico en ión amonio (NH_4^+); en la segunda etapa se neutraliza la muestra digerida y el nitrógeno se desprende en forma de amoniaco (NH_3), el cual se destila hacia una solución de ácido bórico y se cuantifica por medio de una valoración con ácido clorhídrico. El nitrógeno cuantificado por medio de un factor se convierte en el contenido de proteínas.

Del segundo papel que se obtuvo de la determinación de fibra dietética se colectó hasta obtener 0.1g de muestra la cual se colocó en un matraz micro-Kjeldahl con 1.5g de K_2SO_4 y 0.2g de CuSO_4 , seguido se le añadieron 2 mL de H_2SO_4

concentrado, el matraz se colocó en una parrilla en donde se digirió por 1 hora aproximadamente, transcurrido el tiempo se dejó enfriar a temperatura ambiente, se le agregó una pequeña porción de agua destilada para evitar la cristalización. Posteriormente se colocó la muestra en el micro-Kjeldahl en donde se hizo reaccionar con NaOH al 40%, la destilación se dirigió hacia un matraz Erlenmeyer con 50mL de HBO₃ al 40% y se dejó hasta alcanzar un volumen de 100mL, una vez completado el volumen se retiró y se procedió a titular con HCl 0.01N. El porcentaje de proteína se calculó con la ecuación 4:

$$\%N_2 = \frac{(mLHCl\ gastado)(Normalidad\ del\ HCl)(0.014)}{\text{peso de la muestra (g)}} \times 100 \dots \dots \dots ec. (4)$$

$$\%Proteína = (\%N_2) (Factor)$$

2.3.4.3 Almidón total

El almidón total se determinó mediante un método enzimático-espectrofotométrico (Goñi *et al.*, 1997).

El método se basa en la cuantificación por espectrofotómetro de la glucosa liberada como resultado de la hidrólisis enzimática de amiloglucosidasa que hidroliza los enlaces glucosídico alfa (1-4) y alfa (1-6) de las cadenas de amilosa y amilopectina.

Se pesó 0.05g de muestra y se dispersaron en KOH 2M con agitación constante. Posteriormente se adicionó buffer de acetato de sodio y después amiloglucosidasa, se introdujo en un baño a 60 °C por 45 minutos, se centrifugó a 5000 RPM. Posteriormente se tomó el extracto, se añadió reactivo de glucosa y se dejó reposar, finalmente se leyó absorbancia a 505nm en el espectrofotómetro.

1.- Se realiza el siguiente cálculo para determinar la concentración en 1000µL y posteriormente conocer la concentración de glucosa en el sobrenadante, se utilizó la ecuación 5:

$$Concentración\ en\ 1000\mu L = \frac{(concentración\ de\ glucosa\ en\ 10\mu L)(1000\mu L)}{(10\mu L)} . ec (5)$$

$$1000\mu L = 1mL$$

$$\text{concentración en sobrenadante} = \frac{(\text{concentración en } 1000\mu\text{L})(\text{volumen del sobrenadante en mL})}{1\text{mL}}$$

2.- Se realiza el siguiente cálculo para conocer la concentración en 100g y posteriormente expresarlo en porcentaje con la ecuación 6:

$$\text{concentración en } 100\text{g} = \frac{(\text{concentración en sobrenadante})(100\text{g})}{0.05\text{g}} \dots \dots \dots \text{ec. (6)}$$

$$1000000\mu\text{g} = 1\text{g}$$

$$\% = \frac{\text{concentración en } 100\text{g en } \mu\text{g}}{10^6\mu\text{g}}$$

2.3.4.4 Almidón resistente

El almidón resistente se determinó mediante un método enzimático-espectrofotométrico (Goñi *et al.*, 1996)

El método se basa en realizar una digestión enzimática en donde se cortan las cadenas de almidón y almidón unido a proteínas, utilizando alfa amilasa pancreática porcina y pepsina respectivamente, se realiza un lavado con agua destilada. Posteriormente se lleva a cabo otra digestión con amiloglucosidasa para liberar los monómeros de glucosa, que son cuantificados por un método espectrofotométrico.

Se pesó 0.1g de muestra y se colocaron en un matraz al cual se le agregó buffer KCl-HCl y después pepsina, se mantuvo con agitación constante durante una hora, pasado el tiempo se dejó enfriar y se le agregó buffer Trismaleato 0.1M seguido de α -amilasa y se incubó durante 16h, transcurrido el tiempo se centrifugó a 5000RPM y se desechó el sobrenadante, en seguida se realizaron dos lavados con agua destilada desechando el sobrenadante, al sedimento se le agregó KOH 2M, se mantuvo a temperatura ambiente y con agitación constante. Posteriormente se adicionó buffer de acetato de sodio y después amiloglucosidasa, se introdujo en un baño por 45 minutos; transcurrido el tiempo se dejó enfriar y se centrifugó a 5000RPM, en seguida se tomó la muestra, se le añadió reactivo de glucosa y se

dejó reposar durante 20 minutos, finalmente se leyó absorbancia a 505nm en el espectrofotómetro. El porcentaje de almidón resistente se obtuvo mediante la siguiente secuencia de cálculos:

1.- Se realiza el siguiente cálculo con la ecuación 7 para determinar la concentración en 1000µL y posteriormente conocer la concentración de glucosa en el sobrenadante.

$$\text{Concentración en } 1000\mu\text{L} = \frac{(\text{concentración de glucosa en } 10\mu\text{L})(1000\mu\text{L})}{(10\mu\text{L})} \dots \text{ec. (7)}$$

$$1000\mu\text{L} = 1\text{mL}$$

$$\text{concentración en sobrenadante} = \frac{(\text{concentración en } 1000\mu\text{L})(\text{volumen del sobrenadante en mL})}{1\text{mL}}$$

2.-Se realiza el siguiente cálculo con la ecuación 8 para conocer la concentración en 100g y posteriormente expresarlo en porcentaje:

$$\text{concentración en } 100\text{g} = \frac{(\text{concentración en sobrenadante})(100\text{g})}{0.1\text{g}} \dots \dots \dots \text{ec. (8)}$$

$$1000000\mu\text{g} = 1\text{g}$$

$$\% = \frac{\text{concentración en } 100\text{g en } \mu\text{g}}{10^6\mu\text{g}}$$

2.3.4.5 Fenoles

Los compuestos fenólicos se determinaron por el método de Folín Ciocalteu (Prasad y Weigle, 1976, Ranganna, 1977, Valadez *et al.*, 1990)

El método se basa en que los compuestos fenólicos reaccionan con el reactivo de Folín a pH básico, dando lugar a una coloración azul que puede ser determinada espectrofotométricamente a 765nm. El reactivo es reducido al reaccionar con los compuestos fenólicos presentes en la muestra que da lugar a un complejo de color azul intenso, dicha intensidad, es la que se mide para evaluar el contenido de fenoles.

Se pesó 0.1g de muestra y se diluyó en metanol-HCl al 1%, seguido se colocó a baño maría y se dejó hervir, posteriormente se centrifugó a 9000RPM, se obtuvo el sobrenadante y se calentó a 65°C hasta su total evaporación, una vez evaporado se obtuvo una pastilla la cual se redisolvió en agua destilada, se centrifugó a 9000rpm, al extracto centrifugado se le agregó agua destilada y Folin, se agitó y se dejó reposar, después se agregó Na₂CO₃, se agitó y se dejó reposar, finalmente se leyó absorbancia a 760nm en el espectrofotómetro.. Para determinar el contenido de fenoles se siguió la siguiente secuencia de cálculos:

1.-

$$\text{concentración en } 1000\mu\text{L} = \frac{(\text{concentración en mg de fenoles})(1000\mu\text{L})}{400\mu\text{L}} \dots \dots \dots \text{ec (9)}$$

2.- La concentración en 1000 μL equivale a la concentración en 0.1g de muestra que se pesó, por lo que se realiza el siguiente cálculo para conocer la concentración en 1g, y posteriormente el contenido de fenoles

$$\text{concentración en } 1\text{g} = \frac{(\text{concentración en } 1000\mu\text{L})(1\text{g})}{0.1\text{g}} \dots \dots \dots \text{ec. (10)}$$

$$\text{Peso molecular del ácido gálico} = 170.2\text{g}$$

$$\text{Fenoles} = \frac{(\text{concentración en } 1\text{g})(6 \text{ equivalentes de ácido gálico (EAG)})}{170.2\text{g}} (10) = \frac{\text{mg EAG}}{\text{g muestra}}$$

2.3.4.6 Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante se determinó por el método DPPH descrito por Brad-Williams (Londoño, 2012, Da Silva y Selma, 2012, Martínez, 2007)

El método se basa en la medición de la capacidad antioxidante para estabilizar el radical DPPH, estable y soluble en metanol. Esta medición puede hacerse espectrofotométricamente siguiendo el decaimiento de la absorbancia a 518nm. La reacción de estabilización se considera que transcurre principalmente mediante un mecanismo de transferencia de electrones, con un aporte marginal de transferencia de átomos de hidrogeno.

Se pesó 0.1g de muestra y se diluyó en metanol-HCl al 1%, seguido se colocó a baño maría y se dejó hervir, posteriormente se centrifugó a 9000 RPM, se obtuvo el sobrenadante y se calentó a 65°C hasta su total evaporación, una vez evaporado se obtuvo una pastilla la cual se redisolvió en agua destilada, se centrifugó a 9000RPM, al extracto centrifugado se le agregó solución DPPH, se dejó reposar en obscuridad absoluta, finalmente se leyó absorbancia a 518nm en el espectrofotómetro. El cálculo para obtener porcentaje de capacidad antioxidante se realizó con la ecuación 11:

$$\%CA = \left(\frac{Abs. control negativo - Abs. muestra}{Abs. control negativo} \right) 100 \dots \dots \dots ec. (11)$$

Donde:

Abs. Control negativo= valor de absorbancia (Metanol + DPPH 120µM)

Abs. Muestra= valor de absorbancia de la muestra a analizar.

2.3.5 Análisis estadístico

Las pruebas se realizaron por triplicado, calculando su media, desviación estándar y coeficiente de variación. Las medias se analizaron mediante la prueba de rango múltiple t-student con un nivel de significancia de 0.05 utilizando el programa estadístico Origin V 4.0.

CAPITULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Determinación del grado de deterioro

3.1.1 Humedad

En la Figura 22 se muestran los resultados del contenido de humedad de las semillas almacenadas por diferentes periodos de tiempo a 40 °C y 70 % HR; se observó una diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) en el contenido de humedad en ambas semillas analizadas (chía y amaranto) entre las muestras control y las muestras con diferentes periodos de almacenamiento. El incremento en la humedad en las semillas de chia en el último día de deterioro fue de 33% y en las semillas de amaranto de 20% con respecto a las muestras control, sin embargo, como se puede observar las semillas de amaranto presentaron valores superiores comparados con los datos de humedad obtenidos en las semillas de chia.

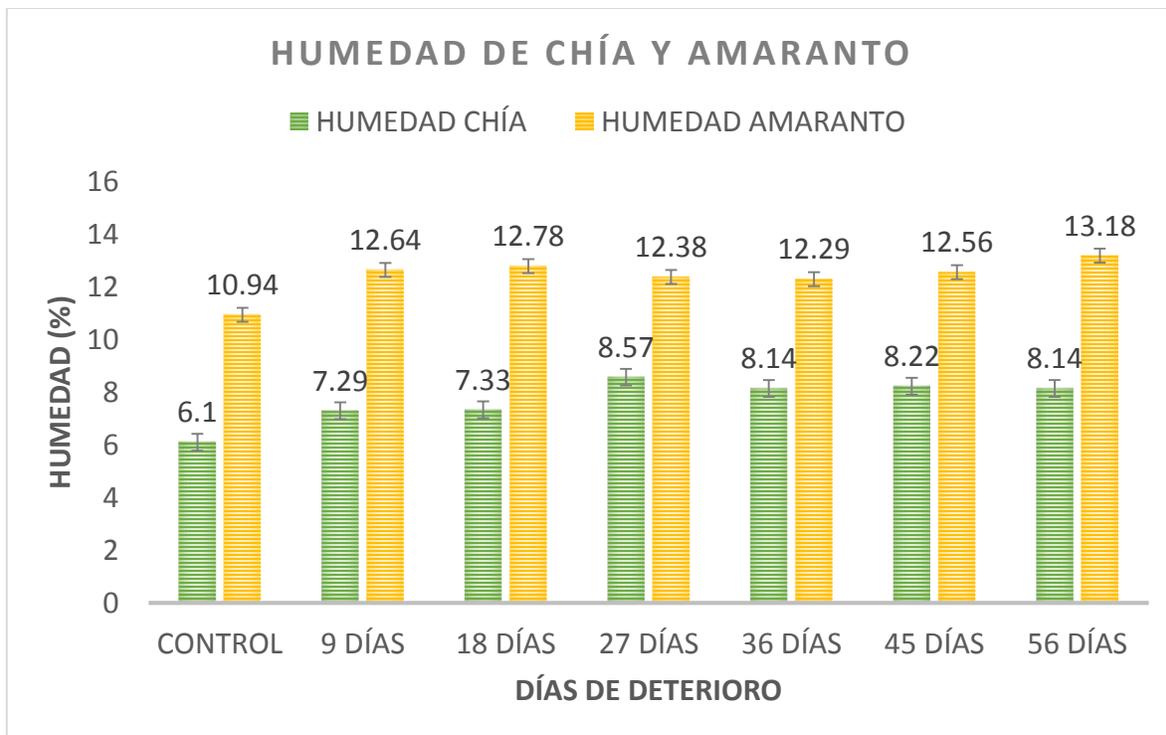


Figura 23. Humedad en las semillas de chia y amaranto durante los días de almacenamiento inadecuado (75% HR y 40 °C).

Esto podría deberse a que, durante el periodo de almacenamiento, la semilla sigue respirando, pero debido a las condiciones inadecuadas de almacén (70 % HR y 40 °C) ésta aumenta. El hecho de que el grano respire implica que absorba oxígeno del aire y consuma carbohidratos de su estructura, liberando calor y provoca una respiración más rápida ya que el grano está caliente y húmedo, lo que hace que los cambios de temperatura provoquen modificaciones que intensifican las variaciones de la humedad relativa del grano. De esta manera, se modifica el equilibrio de aireación, lo que conlleva a un aumento en las posibilidades de una mayor humedad del grano y con ello un deterioro acelerado de las semillas (Blanco *et al.*, 2016).

Este análisis coincide con el trabajo de Hernández *et al.* (2009) el cual estableció que el grano almacenado con humedad alta respira más rápido que el seco, produciendo más calor y creando condiciones favorables para el crecimiento de hongos y para el ataque de insectos, debido a la formación de puntos calientes. Además, si se satura el aire circundante, se presenta condensación de la humedad, favoreciendo el crecimiento de microorganismos. Por otra parte, cuando el contenido de humedad de los granos almacenados aumenta, también lo hace el espacio de aire entre los mismos, lo que contribuye a una mayor resistencia del flujo de aire a través del grano. En este sentido, se demostró que la migración de la humedad del grano prevalece, por lo cual se requiere de mayor tiempo para que el contenido de agua en el grano comience a estabilizarse, por efecto del movimiento de aire intersticial.

3.1.2 Capacidad de germinación

Los resultados de capacidad germinativa se muestran en la Figura 23, se presentó diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) entre las muestras control y las muestras de cada periodo de almacenamiento, la capacidad de germinación de las semillas tanto de chíá como de amaranto fue disminuyendo a tal grado que en el día 56 se perdió completamente la capacidad germinativa de ambas semillas.

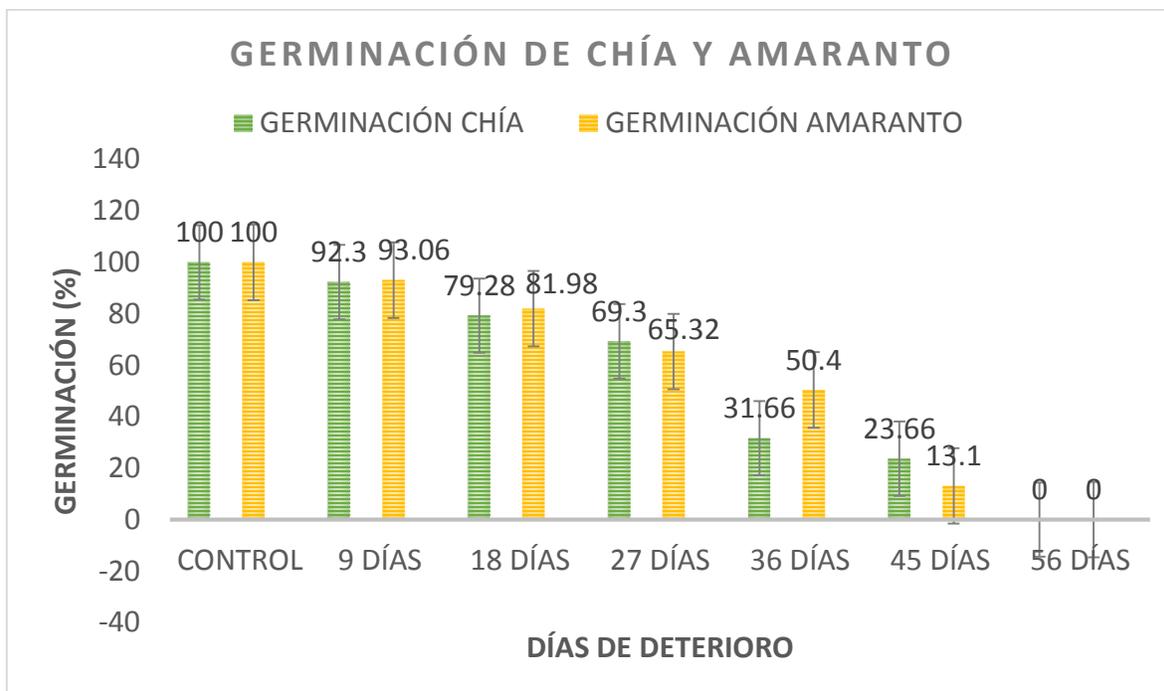


Figura 24. Germinación en las semillas de chía y amaranto conforme aumentan los días de deterioro.

El almacenamiento inadecuado provoca deterioro de las semillas indicado por una reducción en su capacidad de germinación conforme aumenta el tiempo de almacenamiento, dicho comportamiento también se reporta en el trabajo de Herrera *et al.* (2009).

La pérdida de la capacidad de germinación se puede deber a que las semillas en su periodo de almacenamiento aumentaron su contenido de humedad, activando sus procesos metabólicos; en donde se consumen las reservas de las semillas, degradándose lípidos, proteínas y carbohidratos, pero de manera parcial pues no se completan. Esto puede producir daños en las membranas celulares de las semillas, por lo que pierden electrolitos y macromoléculas, que son componentes necesarios para que la semilla logre germinar (Pérez *et al.*, 2008). Por lo tanto, el metabolismo incompleto para germinar se debe probablemente a la falta de agua ya que su disponibilidad es una condición esencial para la germinación de las semillas, ya que determina la imbibición y posterior continuación de procesos metabólicos, como rehidratación, mecanismos de reparación (membranas,

proteínas y ADN), elongación celular y aparición de la radícula (Maldonado *et al.*, 2002)

3.1.3 Conductividad

La conductividad del agua de remojo de las semillas de chía empezó a aumentar a partir de los 36 días de almacenamiento y hasta los 54 días presentando diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) con respecto a la muestra control; mientras que el amaranto mantuvo un aumento desde los 9 días y hasta los 56 días de deterioro donde aumento 4 veces con respecto al control como se muestra en la Figura 24.

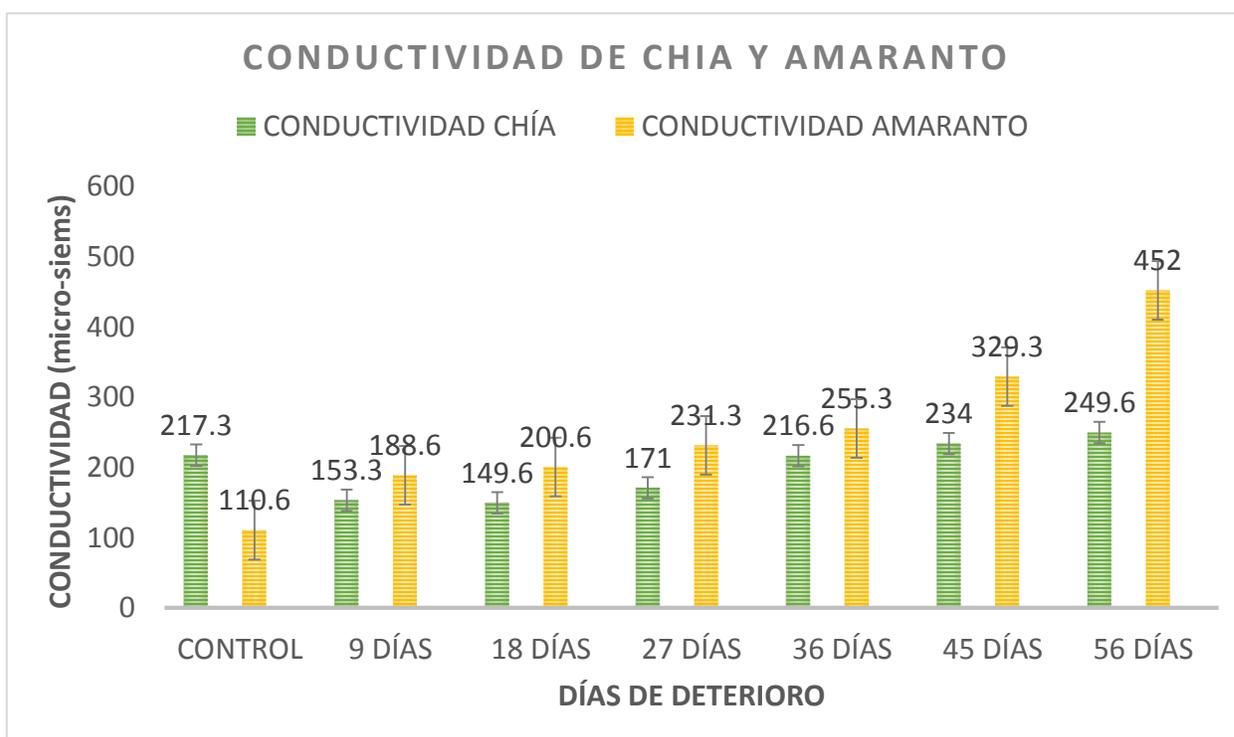


Figura 25. Conductividad en las semillas de chía y amaranto a diferentes días de deterioro.

La prueba de conductividad eléctrica evalúa indirectamente el grado de estructuración de las membranas celulares, mediante la determinación de la cantidad de iones lixiviados en la solución de imbibición. Los iones lixiviados son inversamente proporcionales a la integridad de las membranas celulares y ha sido propuesta como un ensayo para evaluar el vigor de las semillas, considerando que

semillas con bajo vigor generalmente presentan menor velocidad de restaurar la integridad de las membranas celulares (Araméndiz *et al.*, 2017).

Los aumentos en la conductividad conforme avanzan los días de deterioro se deben al daño causado en la integridad de la membrana y la subsiguiente pérdida de solutos citoplasmáticos con propiedades electrolíticas (Tajbakhshh, 2000).

La prueba de conductividad está relacionada con la germinación. A causa del deterioro de las membranas celulares, por la pérdida de lixiviados para el medio externo como los iones orgánicos (K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , Mn^{+2}), así como azúcares, aminoácidos, ácidos grasos, proteínas y enzimas conduce a la reducción del vigor de las semillas (Araméndiz *et al.*, 2017).

De acuerdo a los resultados anteriores donde se presentó en las semillas de chía y amaranto un incremento en la humedad y en la conductividad, además de una disminución parcial y al final total en su capacidad germinativa, se puede decir que las semillas se encuentran a diferentes grados de deterioro y se pueden usar para evaluar el efecto sobre sus componentes funcionales.

3.2 Componentes funcionales

Una vez que se obtuvieron los materiales biológicos deteriorados, se procedió a evaluar el efecto del almacenamiento inadecuado sobre sus componentes funcionales.

3.2.1 Fibra dietética

En la tabla 8 se muestran los resultados del contenido de fibra dietética; en las semillas de chía fue aumentando ligeramente con el mayor tiempo de deterioro, pero no presentaron diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$). En cuanto a las semillas de amaranto existió diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre la muestra control y las muestras a diferentes periodos de almacenamiento, presentando un comportamiento decreciente hasta obtener el día 45 una disminución del 59% con respecto a la muestra control.

Tabla 8. Contenido de Fibra dietética en muestras deterioradas de chíá y amaranto

FIBRA DIETÉTICA		
MUESTRA	CHÍA %	AMARANTO %
CONTROL	60.75±2.89 ^a	14.03±0.37 ^a
9 DÍAS	65.09±3.26 ^a	10.44±0.056 ^b
18 DÍAS	65.75±2.48 ^a	11.36±0.45 ^b
27 DÍAS	72.60±6.95 ^a	14.62±1.44 ^a
36 DÍAS	69.66±4.39 ^a	9.04±0.021 ^{bc}
45 DÍAS	65.98±1.70 ^a	8.35±0.26 ^{bc}

*Diferentes letras entre filas indican diferencia estadísticamente significativa $P \leq 0.05$

El ligero aumento de la fibra dietaria en las semillas de chíá, posiblemente se debe a que con el incremento en la humedad se provocan daños en las capas exteriores de las semillas lo que facilita la obtención del mucilago, es decir fibra dietaria; ya que cuando las clusas ó núculas entran en contacto con el agua, el epicarpio se hincha y tras la ruptura de la cutícula al agotar su elasticidad, el contenido de las células epicárpicas mucilaginosas se excreta como mucilago rodeando toda la superficie del fruto (Di Sapio *et al.*, 2012).

La disminución en el contenido de fibra dietética en las semillas de amaranto provocadas por el deterioro, posiblemente se deba a la alteración provocada en la integridad de la semilla, principalmente la ruptura parcial de la estructura nativa del grano, dañándose así el pericarpio, parte anatómica de la semilla que la contiene, incrementándose la permeabilidad de las membranas celulares (Gutiérrez *et al.*, 2007). Dicho daño causado por un deterioro acelerado, en donde las condiciones de alta humedad y temperatura provocan la degradación de componentes que constituyen a la fibra dietética (Hincapié *et al.*, 2010). Esto puede provocar, la obtención de la fibra dietética de la semilla dañada, y su posible degradación en fibras de bajo peso molecular que no pudieron ser precipitadas y por lo tanto recuperadas, influyendo así en la disminución de la fibra dietaria.

3.2.2 Almidón total

Los contenidos de almidón en las semillas analizadas se muestran en la tabla 9, el almidón en las semillas de amaranto es mayor en comparación a las semillas de chía; como se sabe el amaranto contiene entre 57-60% de hidratos de carbono, de los cuales el almidón ocupa entre 50-60%(García, 2012.), mientras que la chía tiene un menor contenido de carbohidratos que ronda entre 8-9% de los cuales el almidón ocupa hasta un 6%.

Tabla 9. Contenido de Almidón Total presente en muestras deterioradas de chía y amaranto

MUESTRA	ALMIDON TOTAL	
	CHÍA %	AMARANTO %
CONTROL	2.82 ± 0.88 ^a	54.15±.37 ^a
9 DÍAS	4.88 ± 0.15 ^b	62.06±4.94 ^{ab}
18 DÍAS	6.48 ± 0.69 ^c	58.99±0.65 ^{ab}
27 DÍAS	5.46 ± 0.028 ^b	65.5±3.01 ^b
36 DÍAS	4.96 ± 0.77 ^b	62.3±1.35 ^{ab}
45 DÍAS	5.03 ± 0.65 ^b	67.2±2.82 ^b

*Diferentes letras entre filas indican diferencia estadísticamente significativa $P \leq 0.05$

El almidón total en las muestras de chía fue en aumento conforme avanzó el tiempo de deterioro presentando diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) entre la muestra control y las muestras deterioradas, llegando a los 45 días a un aumento de casi el doble que la muestra control. Por otro lado, las semillas de amaranto tuvieron un aumento del almidón total y presentaron diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) entre las muestras deterioradas y el control, teniendo un aumento del 24 % al día 45 de deterioro con respecto al control.

El aumento en el contenido de almidón en las dos semillas se puede deber a la degradación de compuestos que interaccionan con los gránulos de almidón, como

proteínas presentes en las semillas, dejando expuestos a los gránulos facilitando su hidrólisis y su cuantificación (Bernal y Martínez, 2006)

Por otra parte, se observó un incremento de almidón resistente en relación directa al aumento del tiempo de almacenamiento como se puede observar en la tabla 10, lo que pudo influir en el aumento del almidón total ya que este se compone del almidón digerible y el almidón resistente (Martínez, 2015).

3.2.3 Almidón resistente

Los resultados de almidón resistente contenidos en las semillas de chía y amaranto se muestran en la tabla 10. En las semillas de chía, el contenido de almidón resistente aumentó en relación directa al aumento del tiempo de almacenamiento, presentando diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$) entre la muestra control y las muestras deterioradas; el incremento de este tipo de almidón fue de 10 veces a los 45 días. Por su parte, las semillas de amaranto presentaron también un aumento de almidón resistente existiendo diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) entre la muestra control y las deterioradas, el aumento llegó a ser 3 veces el valor de la muestra control a los 45 días de almacenamiento.

Tabla 10. Contenido de Almidón Resistente presente en muestras deterioradas de chía y amaranto

MUESTRA	ALMIDON RESISTENTE	
	CHÍA %	AMARANTO %
CONTROL	0.36 ± 0.06 ^a	11.4±1.47 ^a
9 DÍAS	4.20 ± 0.39 ^{bc}	20.92±0.45 ^b
18 DÍAS	3.67 ± 0.087 ^b	23.47±1.02 ^b
27 DÍAS	4.40 ± 0.55 ^c	36,69±3.86 ^c
36 DÍAS	3.66 ± 0.25 ^b	30.77±0.20 ^d
45 DÍAS	3.73 ± 0.65 ^b	35.45±1.69 ^{cd}

*Diferentes letras entre filas indican diferencia estadísticamente significativa $P \leq 0.05$

El mayor aumento de almidón resistente, puede deberse a que los gránulos de almidón probablemente están rodeados en mayor proporción por una matriz indigerible, además dicha semilla tiene un alto contenido de fibra dietética lo cual provoca una mayor resistencia a la hidrólisis enzimática (Sotelo *et al.*, 2008).

Por otra parte, el comportamiento en aumento de este tipo de almidón tanto en la chía como en el amaranto se puede deber a una gelatinización parcial de almidón y la subsiguiente retrogradación por recristalización provocada por un almacenamiento inadecuado (Villarroel *et al.*, 2018) en donde las cadenas de amilosa se alinean de tal forma que existen fuertes interacciones entre puentes de hidrógeno lo que provoca insolubilización y precipitación de amilosa. Así se puede explicar el menor incremento del almidón resistente en el amaranto que en la chía, ya que el almidón del amaranto tiene baja concentración de amilosa (1%) lo cual le confiere la propiedad de ser poco viscoso y tener mayor solubilidad en agua (Alagara *et al.*, 2016), por lo tanto, presenta una menor retrogradación en comparación al almidón de la chía en donde el contenido de amilosa es aproximadamente 25% (Olimpia, 2013).

Por otra parte, las muestras analizadas tanto de chía como de amaranto no están procesadas por lo que otra posible explicación para el incremento de almidón resistente podría ser que los gránulos de almidón crudo resisten a la actividad enzimática, debido a que su estructura es compacta lo cual limita la accesibilidad de las enzimas digestivas, ya que la estructura física es determinada en parte por una cantidad más alta de amilosa en relación a la amilopectina, que permite constituir dicha estructura que es menos susceptible a hidrólisis enzimática (Villarroel *et al.*, 2018).

Cabe mencionar que en las muestras control, el almidón resistente ocupa un 12.76% en la muestra de chía y 21.05% en la muestra de amaranto, del almidón total, sin embargo, se observó que, al aumentar los días de almacenamiento, el

almidón resistente ocupó un mayor porcentaje del almidón total hasta obtener en el día 45 de almacenamiento, valores de 74.15% y 52.75%, en las muestras de chía y amaranto respectivamente.

3.2.4 Almidón digerible

El almidón digerible de las semillas de amaranto y chía esta reportado en la tabla 11. En las semillas de chía se observó una disminución de éste almidón al aumentar los días de deterioro y hubo diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) entre la muestra control y las muestras deterioradas. Por su parte en las semillas de amaranto también disminuyó el almidón digerible al aumentar el periodo de almacenamiento habiendo diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) entre la muestra control y las muestras deterioradas, cabe mencionar que la disminución a los 45 día de deterioro con respecto a la muestra control fue del 25.73%.

Tabla 11. Contenido de Almidón Digerible presente en muestras deterioradas de chía y amaranto

MUESTRA	ALMIDON DIGERIBLE	
	CHÍA %	AMARANTO %
CONTROL	2.46 ^a	42.75 ^a
9 DÍAS	0.68 ^b	41.14 ^{ab}
18 DÍAS	2.81 ^a	35.52 ^b
27 DÍAS	1.06 ^c	28.81 ^c
36 DÍAS	1.30 ^d	31.53 ^{bc}
45 DÍAS	1.30 ^d	31.75 ^{bc}

*Diferentes letras entre filas indican diferencia estadísticamente significativa $P \leq 0.05$

La disminución del almidón digerible se debe principalmente al aumento del almidón resistente que aumento en forma directa con los días en deterioro (tabla 10). Se puede concluir que las semillas fueron afectadas por el deterioro, provocando un aumento en el almidón total y resistente por lo que el almidón que es digerible y

aprovechado como energía en el cuerpo humano, fue disminuido con forme aumentó el periodo de almacenamiento.

Por lo tanto, el deterioro tuvo efecto negativo sobre las semillas, ya que el almidón que puede ser degradado por el tracto intestinal disminuyó, afectando la obtención de energía al ser consumidas con diferentes grados de deterioro, además de que el aumento de almidón resistente es propio de granos almacenados inadecuadamente.

3.2.5 Fenoles

El contenido de fenoles en las semillas de chía y amaranto se muestran en la tabla 12. En las muestras de chía hubo un ligero aumento con mayor tiempo de deterioro, pero no se presentó diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) solo hasta los 45 días de almacenamiento. En cuanto a las muestras de amaranto se observó una disminución estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) del control a las muestras deterioradas.

Tabla 12. Contenido de Fenoles presente en muestras deterioradas de chía y amaranto

FENOLES		
MUESTRA	CHÍA (mg EAG/g muestra)	AMARANTO (mg EAG/g muestra)
CONTROL	2.57±0.15 ^a	1.46±0.03 ^a
9 DÍAS	2.96±0.02 ^a	0.97±0.03 ^b
18 DÍAS	2.97±0.06 ^a	1.22±0.05 ^c
27 DÍAS	3.16±0.13 ^a	1.21±0.03 ^c
36 DÍAS	3.24±0.05 ^a	1.28±0.02 ^c
45 DÍAS	3.48±0.03 ^b	1.21±0.01 ^c

*Diferentes letras entre filas indican diferencia estadísticamente significativa $P \leq 0.05$

La disminución en los compuestos fenólicos se debe posiblemente a que en el periodo de almacenamiento se incrementó el contenido de humedad en ambas semillas, sin embargo, los valores de humedad son mayores en las semillas de

amaranto que en las de chía (Figura 22). El comportamiento decreciente en el contenido de estos metabolitos secundarios conforme aumenta el periodo de deterioro, concuerda con lo obtenido en la investigación de Franco *et al.*, (2016), que menciona que la presencia de mayor contenido de humedad, puede favorecer reacciones de degradación de algunos componentes entre ellos los fenoles; además el agua puede solubilizar oxígeno, oxidando así dichos compuestos.

Por otra parte, el ligero aumento de compuestos fenólicos en las semillas de chía, se debe probablemente a que las semillas continúan sus procesos metabólicos después de ser cosechadas, dichos procesos se aceleran con el aumento de la temperatura y humedad generando estrés, propiciando mecanismos de defensa como la síntesis de estos compuestos. Dicho comportamiento también fue reportado en las investigaciones de Cantillano *et al.*, (2012) y Raga *et al.*, (2014). Finalmente, la menor cantidad de agua presente en las semillas de chía puede minimizar la pérdida de estos fitoquímicos (Franco *et al.*, 2016).

3.2.6 Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante en las semillas estudiadas se muestra en la tabla 13; se observó un comportamiento decreciente con forme aumentaron los días de deterioro en ambas semillas. En el caso de las semillas de chía esta disminución fue estadísticamente diferente ($P \leq 0.05$) solo a partir de los 36 días de deterioro. Por otro lado, en las muestras de amaranto también se presentó una disminución de la capacidad antioxidante estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) a partir de los 9 días. Cabe mencionar que la disminución en la capacidad antioxidante obtenida en las muestras de chía y amaranto en el último día de deterioro fue aproximadamente de 30% respecto a las muestras control.

Tabla 13. Capacidad antioxidante en muestras deterioradas de chía y amaranto

MUESTRA	CAPACIDAD ANTIOXIDANTE	
	CHIA (%)	AMARANTO (%)
CONTROL	92.50 ± 0.57 ^a	62.9±0.98 ^a
9 DÍAS	90.50± 1.29 ^a	49.31±1.55 ^b
18 DÍAS	88.25 ± 1.70 ^a	50.62±2.96 ^b
27 DÍAS	80.50 ± 2.51 ^{ab}	56.21±0.53 ^{ab}
36 DÍAS	70.50 ± 1.91 ^{bc}	50.28±1.10 ^b
45 DÍAS	67.00 ± 2.44 ^c	45.75±0.06 ^b

*Diferentes letras indican diferencia estadísticamente significativa $P \leq 0.05$

La disminución de la capacidad antioxidante se piensa que se debe a que las semillas al estar en condiciones de alta humedad y temperatura, incrementan su respiración y con ello sus procesos metabólicos, por lo que la mitocondria produce especies reactivas de oxígeno (ERO), ya que la respiración celular se verifica específicamente a este nivel, donde el oxígeno reducido se transforma en el radical superóxido (O_2). Por otra parte, otra fuente de este radical son los fagocitos activados que producen el superóxido como mecanismo protector frente a agentes u organismos extraños y por otros mecanismos el superóxido se transforma en el radical hidroxilo(OH), que es aún más reactivo que el anterior y deriva fácilmente a la formación de nuevos radicales libres (Jaramillo y Valdivia, 2016; Pérez, 2013).

Las ERO resultan nocivas para los organismos cuando se producen en grandes cantidades dañando los constituyentes celulares e induciendo la muerte celular. Así, el estrés oxidativo generado por la sobreproducción de ERO está asociado al envejecimiento, y patologías como la obesidad y la diabetes tipo 2, entre otras (Macedo, 2012).

Por lo tanto, el aumento de las especies reactivas al oxígeno o radicales libres causan un desequilibrio entre los fitoquímicos que los neutralizan, responsables de la degradación de biomoléculas necesarias para el buen funcionamiento del organismo, y conforme aumentan los días de deterioro el desequilibrio aumenta de tal manera que los prooxidantes son mucho mayores que los antioxidantes que las semillas producen para neutralizarlos, provocando una deficiencia en su capacidad antioxidante, generando lo que se conoce como estrés oxidativo (Corrales y Muñoz, 2012).

En investigaciones anteriores (Pérez, 2013), se ha comprobado la generación de estrés oxidativo en las semillas de amaranto provocado por un almacenamiento inadecuado, debido al aumento de radicales libres. La presencia de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y el daño provocado por oxidación de lípidos reflejado por el aumento en concentración de MDA (Malondialdehído), que es un producto terminal de la actividad oxidante, confirmaron la generación de estrés oxidativo. Además, se observó un daño en las proteínas de la semilla, debido al aumento de grupos carbonilos que son producto de reacciones de oxidación durante el periodo de almacenamiento, probablemente causado por las ERO.

Por otro lado, la generación de estrés oxidativo en las semillas de chíá provocado por un almacenamiento inadecuado también ha sido estudiado. En investigaciones de Jiménez y Martínez, (2017), se encontró un aumento significativo en la concentración de MDA conforme aumentó el periodo de almacén; que como se mencionó, es un producto de la degradación de ácidos grasos, confirmando daño en lípidos presumiblemente en los triglicéridos con ácidos grasos insaturados que son los más sensibles y que se encuentran en membranas celulares. La presencia de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) fue en aumento obteniendo niveles tóxicos, comportamiento similar a la semilla de amaranto. Finalmente se reportó un daño en las proteínas mayor a lo reportado en las semillas de amaranto, debido al aumento de carbonilos provocando daño en dichas macromoléculas, las cuales pueden ser de membrana celular. Dichos resultados sugieren que se generó estrés oxidativo en

las semillas de chía deteriorada, pues está reportado que estos daños en proteínas y lípidos son generados por especies reactivas de oxígeno, las cuales atacan de manera preponderante a estos compuestos (Jiménez y Martínez, 2017).

El efecto de un almacenamiento inadecuado provocó alteraciones sobre los componentes funcionales en las semillas estudiadas. En las semillas de chía se observó un ligero aumento en cuanto a fibra dietética y compuestos fenólicos, un aumento significativo en cuanto al contenido de almidón total y almidón resistente, además de una notable disminución de almidón digerible y en su capacidad antioxidante.

Por su parte en las semillas de amaranto existió una disminución en cuanto a fibra dietética, almidón digerible y fenoles, un aumento en almidón total y almidón resistente, además de una disminución similar en la capacidad antioxidante provocada en las semillas de chía.

De acuerdo al conjunto de resultados obtenidos, se puede decir que el almacenamiento en condiciones inadecuadas tuvo un efecto sobre los componentes funcionales, afectando en mayor proporción a la semilla de amaranto en comparación a la semilla de chía, sin embargo, existió una disminución de su potencial nutracéutico en ambas semillas.

CONCLUSIONES

Las condiciones inadecuadas de almacenamiento (40 °C - 70% HR) provocaron el deterioro acelerado de las semillas de chía y amaranto reflejado en la pérdida de su capacidad germinativa, por lo que se pudieron obtener muestras de semillas de chía y amaranto con diferentes grados de deterioro para evaluar su efecto sobre sus componentes funcionales.

El almacenamiento inadecuado provocó alteraciones diferenciadas sobre los componentes funcionales en las semillas estudiadas:

En las semillas de chía se observó un ligero aumento de fibra dietética y compuestos fenólicos, un aumento significativo en el contenido de almidón total y almidón resistente, además de una notable disminución de almidón digerible y de su capacidad antioxidante.

Por su parte en las semillas de amaranto existió una disminución de su fibra dietética, almidón digerible y contenido de fenoles, además de un aumento en almidón total y almidón resistente y finalmente un comportamiento decreciente en la capacidad antioxidante similar a lo provocado en las semillas de chía.

Las modificaciones en los componentes funcionales provocados por las condiciones inadecuadas de almacenamiento fueron mayores en la semilla de amaranto que en las de chía, sin embargo, se puede decir que el almacenamiento inadecuado provocó un impacto negativo sobre el potencial nutracéutico de ambas semillas.

RECOMENDACIONES

Determinar el perfil lipídico para identificar la alteración sobre ácidos grasos esenciales y ácidos grasos polinsaturados los cuales tienen funcionalidad en el ser humano.

Determinar la alteración en el perfil de aminoácidos y establecer la relación con la pérdida de la calidad proteica en las semillas.

Microcopia electrónica para establecer relación del tamaño del granulo de almidón con respecto al incremento almidón resistente.

BIBLIOGRAFÍA

- A.O.A.C. (2005). Official Methods of Analysis 18th ed. Association of Official Analytical Chemists-International Gaithersburg, Maryland, USA.
- Alamy. (2015). *Amaranthus caudatus* growing in a flower border. . Consultado 10 agosto, 2015. Disponible en: <https://www.alamy.com/stock-photo-amaranthus-caudatus-growing-in-a-flower-border>
- Alamy. (2018). *Amaranthus cruentus* cruentus, creciendo en la huerta. Consultado 4 septiembre, 2018. Disponible en: <https://www.alamy.es/grano-de-amaranto-amaranthus-cruentus-creciendo-en-la-huerta->
- Alchetron. (2018). *Amaranthus hypochondriacus*, Consultado 15 febrero, 2018. Disponible en: <https://alchetron.com/Amaranthus-hypochondriacus>
- Algara, P., Gallegos, J., y Reyes, J. (2013). Amarantho: efectos en la nutrición y la salud. *TLATEMOANI Revista Académica de Investigación*,
- Algara, P., Gallegos, J., y Reyes, J. (2016). El amaranto y sus efectos terapéuticos. *TLATEMOANI Revista Académica de Investigación*, (21), 55-73.
- Araméndiz, H., Cardona, C., y Alzate, K. (2017). Prueba de conductividad eléctrica en la evaluación de la calidad fisiológica de semillas en berenjena (*Solanum melongena* L.). *Scientia Agropecuaria*, 8(3), 225–231.
- Araya, H., y Lutz, M. (2003). Alimentos funcionales y saludables. *Rev. chil. nutr.*, 30(1), 8-14.
- Ariza, J., Cano, M., Reséndiz, M. Ronces, R., Betanzos, G., Suárez, T., y Hernández, J. (2016). Cuantificación de escualeno en el aceite de amaranto crudo y refinado. *Educación y Salud Boletín Científico de Ciencias de la Salud del ICESA*, 4(8).
- Barragán, S. (2019). Amarantho: El grano de los dioses. Consultado diciembre, 2018. Disponible en: <https://www.azul-natour.com/amaranto/>

- Bernal, L. y Martínez, E. (2006). Una nueva visión de la degradación del almidón
Revista del Centro de Investigación. *Universidad La Salle*, 7(25), 77- 90.
- BIOECO. (2016). Superalimentos: energía natural. Consultado septiembre,2016.
Disponible en: https://www.bioecoactual.com/wp-content/uploads/PDF2016/bioecoactual_septiembre_16_cas.pdf
- Blanco, Y., Durañona, H., y Acosta, R. (2016). Efecto de la temperatura y la
humedad en la conservación de granos de maíz en silos metálicos
refrigerados. *Cultivos Tropicales*, 37(4), 105-114.
- Bolívar, M. (2007). Manejo de granos en almacenamiento, causas de deterioro y
prevención. *Arch. Latinoam. Prod. Anim*, 15 (1), 180-184.
- Cantillano, R., Ávila, J., Peralba, M., Pizzolato, T., y Toralles, R. (2012). Actividad
antioxidante, compuestos fenólicos y ácido ascórbico de frutillas en dos
sistemas de producción. *Horticultura Brasileira*, 30, 620-626.
- Carrillo, C. S., Gutiérrez, M., Muro, M., Martínez, R, y Torres, O. (2017). La chía
como súper alimento y sus beneficios en la salud de la piel. *El Residente*,
12(1), 18-24.
- Corrales, L. y Muñoz, M. (2012). Estrés oxidativo: origen, evolución y
consecuencias de la toxicidad del oxígeno. *Nova*,.10(18), 213-225.
- CUNNIF, P. (1995). Official Methods of Analysis of AOAC International, 16th edition
USA.
- Da Silva, M., y Selma, R. (2012). Antioxidant activity and flavonoid content of *Clusia
fluminensis*. Planch. & Triana. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*,
84(3), 609-616.

- De la Cruz, M. C. (2018). Efecto del deterioro de chíá (*Salvia hispanica L.*) sobre su calidad nutrimental. Tesis de licenciatura. Química en alimentos. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Di Sapio, O., Bueno, M., Busilacchi, H., Quiroga, M., y Severin, C. (2012). Caracterización Morfoanatómica de Hoja, Tallo, Fruto y Semilla de *Salvia hispanica L. (Lamiaceae)* Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas, 11(3), 249-268.
- Drradio. (2015). El amaranto. Consultado 28 octubre, 2015. Disponible en: <http://www.drradio.com.mx/el-amaranto/>
- Fernández, P. (2018). La chíá un tesoro de Acatic. Consultado 7 enero, 2018. Disponible en: <https://www.informador.mx/suplementos/La-chia-un-tesoro-de-Acatic-20180106-0122.html>
- Fideicomiso de Riesgo Compartido, (2017) La chíá, como Cultivo Alternativo. Consultado 15 noviembre, 2017. Disponible en: <https://www.gob.mx/firco/articulos/la-chia-comocultivoalternativo?idiom=es>
- Fuentes, L., Acevedo, D., y Gelvez, V. (2015). Alimentos funcionales: impacto y retos para el desarrollo y bienestar de la sociedad colombiana. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 13(2), 140-149.
- Franco, Y., Rojano, B., Alzate, A., Restrepo, C., Rivero, D., y Maldonado, M. (2016). Efecto del tiempo de almacenamiento sobre propiedades fisicoquímicas y antioxidantes de productos derivados del fruto agraz (*Vaccinium meridionale swartz*). *Revista de la facultad de ciencias farmacéuticas y alimentarias*, 23(3), 184-193.
- García, L. (2012). Variedades de amaranto y fechas de siembra para rendimiento de grano y forraje en San Luis Potosí. Tesis de licenciatura. Ingeniera Agrónoma Fitotecnista. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

- García, M. L., Aguirre, J. A., Narro, J., Cortés, E., y Rivera, Reyes J. G. (2007). Silo hermético para el control de plagas de granos almacenados en Guanajuato, México. *Agricultura Técnica en México*, 33(3), 231-239.
- Gimeno, A. (2002). Principales factores condicionantes para el desarrollo de los hongos y la producción de micotoxinas. Consultado 4 mayo, 2002. Disponible en: <https://www.engormix.com/micotoxinas/articulos/principales-factores-condicionantes-desarrollo-t26065.htm>
- González, B. (2016). La chíá, alimento alternativo para consumo humano. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 5 (9).
- González, R., Vera, A., y Lerma, D. (2016). Estrategia de comercialización competitiva del amaranto en San Luis Potosí. *Revista de Análisis de Economía, Comercio y Negocios Internacionales*, 10 (1), 71-93.
- Goñi, I., García, A., y Saura, F. (1997). Starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. *Nutrition Research*, 17(3), 427-437.
- Goñi, L., Mañas, E., y Saura, F. (1996). Analysis of resistant starch a method for foods and food products. *Food chemistry*, 56(4), 445-449.
- Gutiérrez, A., Ledesma, L., García, I., y Grajales, O. (2017). Capacidad antioxidante total en alimentos convencionales y regionales de Chiapas, México. *Revista Cubana de Salud Pública*, 33(1).
- Gutiérrez, G., Virgen, J., y Arellano, J. (2007). Germinación y crecimiento inicial de semillas de maíz con envejecimiento natural. *Agronomía Mesoamericana*, 18(2), 163-170.
- Hernández, C., Rodríguez, Y., Niño, Z., y Pérez S. (2009). Efecto del Almacenamiento de Granos de Maíz (*Zea mays*) sobre la Calidad del Aceite Extraído. *Información Tecnología*, 20(4), 21-30.

- Hernández, J. (2016). Establecimiento de cultivos in vitro de raíces adventicias de *Salvia hispanica L.* (Chía) para la producción de ácidos grasos Omega 3. Tesis de licenciatura. Químico Farmacéutico Biólogo. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Hernández, J. A., y Carballo A. (2017) Almacenamiento y conservación de granos y semillas.
- Hernández, J. A., y Miranda, S. (2008). Caracterización morfológica de Chía. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 31(2),105-113.
- Hernández, R., y Herrerías, G. (1998). AMARANTO: HISTORIA Y PROMESA. *Tehuacán: Horizonte del Tiempo*, 1, 529.
- Herrera, J., y Alizaga, R. (2009). Efecto de las condiciones de almacenamiento sobre la germinación de la semilla de dos patrones de cítricos. *Tecnología en Marcha*, 22(3), 17-24.
- Hincapié, G., Omaña, M., Hincapié, C., Arias, Z., y Vélez, L. (2010). Efecto de la temperatura de secado sobre las propiedades funcionales de la fibra dietaria presente en la citropulpa. *Revista Lasallista de Investigación*, 7(2), 85-93.
- Irving, D.W., A.A. Betschart y R.M. Saunders. 1981. Morphologic studies on *Amaranthus cruentus*. *J. Foods Science* 46: 1170-1173.
- ISTA. (1995). Handbook of vigour test methods. International Seed Testing Association. Zúrich, Switzerland. 117 pp.
- ISTA. (1996). *International Seed Testing Association*, Zúrich, 335 pp.
- Jaramillo, Y. (2013). La chía (*Salvia hispanica L.*), una fuente de nutrientes para el desarrollo de alimentos saludables. Tesis para maestría. Especialista en Alimentación y Nutrición. Corporación Universitaria Lasallista.

- Jaramillo, F y Valdivia, A. (2016). Fundamentos de estrés oxidativo celular. Universidad Autónoma de Aguascalientes, México, pp. 142.
- Jiménez, P., Masson, P., y Quitral, V. (2013) Composición química de semillas de chía, linaza y rosa mosqueta y su aporte en ácidos grasos omega-3. *Rev Chil Nutr*, 40(2), 155-160.
- Jiménez, R., González, N., Magaña, A., y Corona, A. I. (2011). Contenido de almidón resistente en alimentos consumidos en el sureste de México. *UNACAR TECNOCENCIA*, 5(2), 27-34.
- Jiménez, V., y Martínez E. (2017). Relación entre el deterioro de chía (*Salvia hispanica* L.) y la generación de estrés oxidativo. *Aportaciones a la Ciencias Alimentarias*, capítulo 21, UAJAT, Villahermosa Tabasco, México
- Lamas, M. (2013). La Chía un cultivo muy rentable. *El economista*. Consultado 19 marzo, 2013. Disponible en: <https://www.eleconomista.com.mx/opinion/La-chia-un-cultivo-muy-rentable-20130319-0012.html>
- Londoño, J. (2012). Antioxidantes: Importancia biológica y métodos para medir su actividad. Corporación Universitaria Lasallista. Capítulo 9. Parte III. Antioquia – Colombia.
- Macedo, A. (2012). La producción de especies reactivas de oxígeno (EROs) en las mitocondrias de *Saccharomyces cerevisiae*. *Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 15(2), 97-103.
- Maldonado, C., Pujado, E, y Squeo, F.(2002). El efecto de la disponibilidad de agua durante el crecimiento de *Lycopersicon chilense* sobre la capacidad de sus semillas para germinar a distintas temperaturas y concentraciones de manitol y NaCl. *Revista chilena de historia natural*, 75 (4), 651-660.

Mapes, E, C. (2015). El Amaranto. *Revista Ciencia*, 66(3), 8-15.

Mapes, E. C. (2015). Recopilación y análisis de la información existente de las especies del genero *amaranthus* cultivadas y de sus posibles parientes silvestres en México. JARDÍN BOTÁNICO. INSTITUTO DE BIOLOGÍA, UNAM.

Martínez, E. (2015). Caracterización morfológica y contenido de almidón resistente y disponible en bananos (*Musa sapientum*) exportables del Ecuador. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 19(3), 153-159.

Martínez, E, y Jiménez V. (2016). Amaranto: Relación entre su deterioro y la calidad nutrimental. Editorial academia española

Martínez, J. B., (2007). Evaluación de la actividad antioxidante de extractos orgánicos de semillas de *Helicarpus terebinthinaceus*. Tesis de Licenciatura. Ingeniería en alimentos. Huajuapán de León, Oaxaca. Universidad Tecnológica de la Mixteca

Matías, G., Hernández, B., Peña, V., Torres, N., Espinoza, V., y Ramírez, L. (2018). Usos actuales y potenciales del Amaranto (*Amaranthus spp.*). *Journal of negative & no positive results*, 3(6), 423-436.

Mercado, G., de la Rosa, L., Wall, A., López, J. A., y Álvarez, E. (2013). Compuestos polifenólicos y capacidad antioxidante de especias típicas consumidas en México. *Rev. Nutr Hosp*, 28(1),36-46.

MINERVA NATURA. (2019), Chía, Consultado 2019. Disponible en : <https://www.minervanatura.es/productos/chia/>

Nardo, A. (2017). Péptidos bioactivos de globulinas de amaranto. una aproximación computacional y experimental. Tesis de Doctorado. UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA.

NORMA Oficial Mexicana NOM-247-SSA1-2008, Productos y servicios. Cereales y sus productos. Cereales, harinas de cereales, sémolas o semolinas. Alimentos a base de: cereales, semillas comestibles, de harinas, sémolas o semolinas o sus mezclas. Productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales. Métodos de prueba.

Olimpia. (2013). Composición Química de los Cereales – Carbohidratos. Consultado 14 de febrero de 2013. Disponible en: http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/semillas/index.php?option=com_content&view=article&id=16&Itemid=20&limitstart=1

Pérez, F. (2013). Importancia del estrés oxidativo en el amaranto deteriorado provocado por un almacenamiento inadecuado. Tesis de Licenciatura. Ingeniera en Alimentos. Universidad Nacional Autónoma de México.

Pérez, I., Ayala, O., González, V., Carrillo, J., Peña, A., y García, G. (2008). Indicadores morfológicos y fisiológicos del deterioro de semillas de tomate de cáscara. *AGROCIENCIA*, 42, 891-901.

Porr, M. (2012). El amaranto – pequeñas semillas con fuerzas colosales. Amaranto: planta latinoamericana con fuerzas colosales. Informaciones, propósito comunitario, *EL PAN ALEGRE*

Prasad, K. y Weigle L. J. (1976). Association of seed coat factors with resistance to *Rhizoctonia solani* in *Phaseolus vulgaris*. *Phytopathology*, 66, 342-345.

PROGRAMA ECO-AMARANTO. (2014). Manual para la producción de Amaranto cultivo, cosecha y post cosecha. Puente a la salud comunitaria A. C.

Químicas. (2016.) Semillas de Chía; composición química y beneficios. Disponible en: <https://iquimicas.com/chia-composicion-quimica-beneficios/>

Raga, J., Gretty, E.; Pérez, E., Sandoval, L., y Casas, J. (2014). Efecto de las condiciones de almacenamiento sobre la capacidad antioxidante del mesocarpio homogeneizado y troceado de lechosa (*Carica papaya* L.). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 15(2), 135-144.

Ramírez, L. (2014). La promoción de un buen manejo de poscosecha en el campo mexicano. *EnIACe la revista de la Agricultura de Conservación*. Año v, No. 18, 15-17.

Ranganna, S. (1977). *Manual of Analysis of Fruit and Vegetables Products*. McGraw Hill. New Delhi. 634 p.

Rivera, J., González, N., Reyes, Z., y Jiménez, R. (2018). Componentes prebióticos del plátano: fibra dietética y almidón resistente. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 5(3), 40-50.

Robles, A. J. (2013). *Elaboración de cereales de desayuno fortificados con harina de amaranto y frutas deshidratadas*. Tesis de maestría. Tecnología, Control y Seguridad Alimentaria. CENTRO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE LA INDUSTRIA FARMACEUTICA.

SAGARPA. (2017). Atlas agroalimentario. Consultado 2017. Disponible en: <http://online.pubhtml5.com/clsi/ibhs/#p=1>

Salas, H. (2013). *El amaranto como alternativa alimentaria para el mejoramiento nutricional del adulto/a mayor de la asociación de jubilados/ del iess de la ciudad de otavalo – provincia de imbabura 2012*. Tesis de licenciatura. Nutrición y Salud Comunitaria. UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

- Revista industrial del campo. (2016). El amaranto. Consultado 15 noviembre, 2016.
Disponible en: <http://www.2000agro.com.mx/sin-categoria/el-amaranto/>
- Romero, A. (2011). Las semillas, exploradores solitarios. Ladobe. Consultado 27 enero, 2011. Disponible en: <https://ladobe.com.mx/2011/09/las-semillas-exploradores-solitarios/>
- Sabina Adolfo. (2012) Chía, alimento milenario. Consultado 14 marzo, 2012.
Disponible en: <http://mx.globedia.com/chia-alimento-milenario>
- Sarmiento, L. A. (2006) Alimentos funcionales, una nueva alternativa de alimentación. *Orinoquia*, 10(1), 16-23.
- Semillas Orgánicas y semillas raras. (2019). Semillas de amaranto. Consultado 2019. Disponible en: <http://www.semillasorganicas.cl/producto/semillas-de-amaranto/>
- SIAP, (2017). Boletín de exportaciones (chía). Consultado 2017. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/254959/Boletin_de_exportaciones_chia_2017_09.pdf
- Solís, J. (2006). Al rescate de la chía, una planta alimenticia prehispánica casi olvidada. *Revista de divulgación Científica y Tecnológica de la Universidad de Veracruz*, 19(3).
- Sotelo, A., Argote R., Cornejo, L., Escalona, S, Ramos, M., Nava, A., Palomino, D., y Carreón, O. (2008) Medición de fibra dietética y almidón resistente: reto para alumnos del Laboratorio de Desarrollo Experimental de Alimentos (LabDEA). *Educación química*, 19(1), 42-49.
- Tajbakhsh, M. (2000). Relationships between electrical conductivity of imbibed seeds leachate and subsequent seedling growth (viability and vigour) in omid wheat. *Journal of Agriculture, Science and Technology*, 2, 67-71.

- Torres, M. (2016). Superalimentos de siempre, tendencia de hoy. *BIOECO*, (34), 2-3.
- Torres S. (2018) La razón real por la que las semillas de chía son buenas para ti. Consultado 28 febrero, 2018. Disponible en: <https://www.mujerhoy.com/vivir/salud/201802/27/semillas-chia-beneficios-salud-20180226152740.html>
- Valadez Moctezuma, E., Ortega Delgado, M. L., Carallo Carballo, A., & Fucikovsky Zak, L. (1990). Flavonoides de la testa del frijol como inhibidores de dos bacterias fitopatógenas. *Agrociencia*, 2, 75-91.
- Vázquez Badillo E. M., Moreno Martínez E. (2016) Hongos en granos y semillas. *Rev. Claridades Agropecuarias* N.271.
- Vázquez Badillo E. M., Moreno Martínez E. (2016). Poscosecha de granos. *Rev. Claridades Agropecuarias* N.271.
- Venegas, E. A. (2012). Cuantificación de flavonoides totales y taninos presentes en el extracto acuoso de hojas de *Thea sinensis* L. y su capacidad antioxidante. *UCV – Scientia*, 4(2), 161-175.
- Villarroel, P., Gómez, C., Vera, C., y Torres, J. (2018). Almidón resistente: Características tecnológicas e intereses fisiológicos. *Rev Chil Nutr*, 45(3), 271-278.
- Xingú, A., González, A., De la Cruz, E., Sangerman, D. M., Orozco, G., y Arriaga, R. (2017). Chía (*Salvia hispanica* L.) situación actual y tendencias futuras. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(7), 1619-1631.