



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE  
PUEBLA**



**INSTITUTO DE CIENCIAS**

**POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES**

***“La Tierra no es de nosotros, nosotros somos de la Tierra”***

**Análisis de los antioxidantes en la hoja de *amaranthus hypochondriacus* con  
manejo tradicional para su valoración alimenticia.**

TESIS

Que para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

Presenta:

**PALMIRA SHEYLA GÓMEZ TORRES**

Directora de tesis:

Dra. María Elena Ramos Cassellis

Noviembre 2022



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE  
PUEBLA**



**INSTITUTO DE CIENCIAS**

**POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES**

***“La Tierra no es de nosotros, nosotros somos de la Tierra”***

**Análisis de los antioxidantes en la hoja de *amaranthus hypochondriacus* con  
manejo tradicional para su valoración alimenticia.**

TESIS

Que para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

Presenta:

**PALMIRA SHEYLA GÓMEZ TORRES**

COMITÉ TUTORIAL:

Directora	Dra. María Elena Ramos Cassellis
Tutora	DC. Rosalía del Carmen Castelán Vega
Integrante Comité Tutorial	DC. Alia Méndez Albores
Integrante Comité Tutorial	DC. Sonia Emilia Silva Gómez

Noviembre 2022

## AGRADECIMIENTOS.

Mis agradecimientos al Posgrado en Ciencias Ambientales del Instituto de Ciencias de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, por permitirme formar parte del programa de maestría y particularmente al área de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable, en dónde pude desarrollar este trabajo de tesis. Agradezco a mi directora de tesis, la Dra. María Elena Ramos Cassellis por ser mi guía, por sus enseñanzas y disposición, así como por el tiempo compartido que siempre fue grato. Agradezco también a mi comité tutorial, a la Dra. Sonia, quién con su punto de vista distinto al mío me ayudo a ver desde otras perspectivas, siempre amable y dispuesta; a la Dra. Rosalía, quién siempre alegre y de buen ánimo me enseñó a considerar nuevos elementos y a la Dra. Alia, quién amablemente me hizo recordar no perder de vista los conocimientos adquiridos y reforzarlos. A los profesores por sus enseñanzas y conversaciones que despertaron en mi la curiosidad sobre nuevos conocimientos, ideas y conceptos, que me hicieron crecer como estudiante. A mis compañeros de generación, con quiénes compartí la incertidumbre de esta época, pero lo logramos. A la Mtra. Mada que tuvo disposición para que lograra cumplir mis objetivos en laboratorio y también a sus alumnas de servicio. A aquellos productores que me permitieron conocer sobre su cultivo y compartieron sus experiencias. A las personas que siempre estuvieron conmigo y que me ayudaron a persistir en alcanzar esta meta, Alba y Daniel. A mi familia por siempre creer en mí y apoyar los proyectos que llevo a cabo.

Agradezco también al CONACyT por la beca otorgada, con la cual pude cursar este posgrado y desarrollar el presente trabajo de tesis.

Finalmente, se agradece a la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado por el apoyo otorgado para la conclusión de esta tesis dentro del Eje IV. Modelo de Investigación abierta y compartida. Objetivo 13. Formar recursos humanos que impacten positivamente el contexto social y científico como consecuencia de su accionar en una comunidad para lograr una educación desarrolladora de la transformación. Indicador establecido en el Plan de Desarrollo Institucional 2021 – 2025.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS .....	6
ÍNDICE DE FIGURAS.....	7
I. INTRODUCCIÓN. ....	9
II. JUSTIFICACIÓN.....	11
III. MARCO DE REFERENCIA. ....	11
3.1 Marco teórico.....	11
3.1.1 Antecedentes.....	11
3.1.1.1 Historia del Amaranto.....	11
3.1.1.2 Clasificación botánica del Amaranto.....	12
3.1.1.3 Usos del Amaranto.....	13
3.1.1.3.1 Grano.....	13
3.1.1.3.2 Hoja.....	14
3.1.1.4 Cultivo del Amaranto.....	14
3.1.1.4.1 Grano.....	15
3.1.1.4.2 Hoja.....	16
3.1.1.4.3 Residuos Agrícolas.....	16
3.1.1.4.4 Tochimilco.....	17
3.1.1.5 Composición del amaranto.....	18
3.1.1.5.1 Grano.....	18
3.1.1.5.2 Hoja.....	19
3.1.1.5.3 Antioxidantes.....	19
3.1.1.6 Tortilla.....	22
3.2 Marco conceptual.....	23
3.2.1 Tipo de investigación.....	23
3.3 Marco Legal.....	25
IV. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	26
4.1 Preguntas de investigación.....	26
V. HIPÓTESIS.....	26
5.1 Hipótesis general.....	26

<b>VI. OBJETIVOS.....</b>	<b>26</b>
6.1 Objetivo general.....	26
6.2 Objetivos específicos.....	27
<b>VII. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>27</b>
7.1 Localización.....	27
7.2 Fase 1. Recopilación de información y muestras.....	28
7.2.1 Aplicación de entrevistas.....	28
7.2.2 Descripción del sistema de cultivo de amaranto.....	28
7.2.3 Composición nutrimental de la hoja de amaranto.....	29
7.2.3 Muestreo de hojas.....	29
7.2.4 Acondicionamiento de muestras (1).....	29
7.3 Fase 2. Laboratorio.....	29
7.3.1 Acondicionamiento de muestras (2).....	29
7.3.2 Determinación de capacidad antioxidante y polifenoles totales.....	30
7.3.2.1 Capacidad antioxidante.....	30
7.3.3 Diseño experimental para la integración de antioxidantes a la tortilla.....	31
7.3.3.1 Características de la tortilla fortificada.....	31
7.3.4 Evaluación de la conservación de antioxidantes y determinación del tiempo de vida útil de la tortilla fortificada.....	31
7.3.5 Análisis de la composición nutrimental de la tortilla fortificada.....	32
7.3.5.1 Humedad.....	32
7.3.5.2 Extracto etéreo.....	32
7.3.5.3 Fibra cruda.....	33
7.3.5.4 Proteínas.....	34
7.3.5.5 Azúcares.....	34
7.3.5.6 Cenizas.....	35
7.4 Fase 3. Trabajo de Gabinete.....	35
7.4.1 Divulgación de la metodología desarrollada.....	35
7.5 Análisis estadísticos.....	35
<b>VIII. RESULTADOS.....</b>	<b>36</b>
8.1 Fase 1. Recopilación de información y muestras.....	36
8.1.1 Descripción del sistema de cultivo de amaranto.....	36
8.1.2 Aplicación de Entrevistas.....	40

8.1.3 Composición nutrimental de la hoja de amaranto.....	45
8.1.4 Muestreo de hojas .....	46
8.1.5 Acondicionamiento de muestras (1). .....	47
8.2 Fase 2. Laboratorio. ....	50
8.2.1 Acondicionamiento de muestras (2) .....	50
8.2.2 Determinación de capacidad antioxidante y polifenoles totales.....	51
8.2.2.1 Capacidad antioxidante.....	51
8.2.2.2 Polifenoles totales. ....	54
8.2.3 Integración de los antioxidantes a la tortilla.....	56
8.2.3 Características de la tortilla fortificada. ....	57
8.2.4 Evaluación de la conservación de antioxidantes y tiempo de vida útil de la tortilla fortificada. ....	59
8.2.4.1 Evaluación de la conservación de antioxidantes .....	59
8.2.4.2 Evaluación del tiempo de vida útil de la tortilla fortificada.....	61
8.2.5 Análisis de la composición nutrimental a la tortilla fortificada. ....	63
7.4.1 Divulgación de la metodología desarrollada. ....	65
<b>IX. CONCLUSIONES.....</b>	<b>65</b>
<b>ANEXO 1. FORMATO DE ENTREVISTA SEMIESTRUCTURADA.....</b>	<b>67</b>
<b>XI. LITERATURA CITADA .....</b>	<b>74</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Experimentos para determinar capacidad antioxidante.....	30
Tabla 2. Experimentos para determinar contenido de fenoles totales. ....	31
Tabla 3. Resultados de entrevistas a productores de amaranto. ....	41
Tabla 4. Estimación de residuos producidos en el cultivo de amaranto. ....	44
Tabla 5. Comparativa del contenido nutrimental de la hoja de amaranto.....	46
Tabla 6. Medidas de hojas de amaranto secas. ....	48
Tabla 7. Material tamizado obtenido.....	49
Tabla 8. Porcentajes de inhibición .....	52
Tabla 9. Capacidad antioxidante en hojas de amaranto.....	53
Tabla 10. Concentración de Polifenoles totales en hojas de amaranto. ....	55
Tabla 11. Caracterización física de la tortilla fortificada. ....	57

Tabla 12.	Datos de textura para tortilla con extracto.....	58
Tabla 13.	Capacidad antioxidante en tortilla .....	59
Tabla 14.	Porcentaje de inhibición en tortilla.....	60
Tabla 15.	Concentración de Polifenoles totales en tortilla.....	61
Tabla 16.	Actividad de agua en tortilla.....	62
Tabla 17.	Composición nutrimental de la tortilla de maíz.....	64

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Vitaminas antioxidantes.....	20
Figura 2.	Compuestos Pro-Vitamina A.....	20
Figura 3.	Flavonoides.....	20
Figura 4.	No Flavonoides.....	21
Figura 5.	Proceso Cuantitativo (Hernández et al., 2014) .....	23
Figura 6.	Localización de Tochimilco, Puebla, México (Mapa Digital de México, 2020).....	27
Figura 7.	Diagrama General de Trabajo (Elaboración propia).....	28
Figura 8.	Sistema: Cultivo de amaranto (Elaboración propia) .....	37
Figura 9.	Superficie del terreno.....	42
Figura 10.	Factores que afectan el crecimiento.....	43
Figura 11.	Uso de hojas que se cortan durante el crecimiento.....	45
Figura 12.	Hojas limpias.....	47
Figura 13.	Hojas secas.....	48
Figura 14.	Hojas molidas.....	49
Figura 15.	Hojas tamizadas.....	50
Figura 16.	Frascos con muestras preparadas.....	51
Figura 17.	Muestras en agitación.....	51
Figura 18.	Muestra con reactivo DPPH.....	52
Figura 19.	Muestra después del ensayo.....	55
Figura 20.	Rolabilidad - Tortilla control.....	57
Figura 21.	Rolabilidad - Tortilla con extracto .....	57
Figura 22.	Inflado - Tortilla control.....	58
Figura 23.	Inflado - Tortilla con extracto .....	58
Figura 24.	CA - Muestra Tortilla control.....	60

Figura 25.	CA - Muestra tortilla con extracto.....	60
Figura 26.	PT - Muestra Tortilla control. ....	61
Figura 27.	PT - Muestra tortilla con extracto. ....	61
Figura 28.	Medición de actividad de agua.....	62
Figura 29.	Actividad de agua en tortilla. ....	62
Figura 30.	Evaluación visual de hongos en tortilla.....	63

### ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ABREVIATURA	SIGNIFICADO
CEDRSSA	Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria
CONAPO	Consejo Nacional de Población
CONEVAL	Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social
FAO	Food and Agriculture Organization
INAFED	Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
SADER	Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural
SAGARPA	Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
SIAP	Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera
WWF	World Wildlife Fund

## I. INTRODUCCIÓN.

El amaranto es una planta que se ha cultivado en México desde la época prehispánica, teniendo gran importancia como alimento y elemento simbólico (Morán *et al.*, 2012). De acuerdo con Rojas (1991), es una de las plantas con mayor antigüedad en el continente americano, ya que se han encontrado restos de sus semillas, de hace 7,000 años, en Tlapacoyan, y otras en Tehuacán, de hace 5,500 años; sin embargo, su importancia en la antigüedad disminuyó a la llegada de los españoles, a quienes le sorprendió su uso en los rituales locales, lo que llevó a reducir el cultivo (Morán *et al.*, 2012).

El amaranto cuenta con un alto contenido de proteínas, encontrando porcentajes que van del 15 al 18%, así como de carbohidratos, ya que el almidón está presente en un 62% del peso total del grano, además de lípidos, con valores de entre 7.9 y 8.9%, contando con aceites de alto grado de insaturación como ácido linoleico, ácido linolénico y ácido estérico; también contiene fibras y minerales tales como sodio y calcio, cuyos valores son más altos que en los cereales (Becker *et al.*, 1981 y Silva, 2007).

Debido a su valor nutrimental, sabor, aceptabilidad, asequibilidad y accesibilidad, el Fondo Mundial para la Naturaleza lo incluyó en los 50 alimentos del futuro (World Wildlife Fund [WWF], 2019). De igual forma, fue integrado a la canasta básica Segalmex-Diconsa que contiene comestibles de primera necesidad, artículos de limpieza e higiene, entre otros, no obstante, el amaranto fue integrado únicamente como golosina (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [SADER], 2020).

A nivel internacional, los países productores de grano de amaranto son principalmente China, India, Kenia, México, Nepal, Perú, Estados Unidos, Bolivia, Pakistán, Argentina y Rusia (Matías *et al.*, 2018).

En el ciclo anual 2019 – 2020, México produjo 5,625 t de amaranto, en una superficie sembrada de 3,000 ha. El amaranto mexicano se exporta a Estados Unidos, Costa Rica, Chile, Panamá y Japón. (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2021).

Para el año 2020, los primeros lugares en producción de amaranto a nivel nacional fueron Oaxaca en quinto lugar, con un volumen de 123 t; Ciudad de México en cuarto lugar, produciendo 139 t; Estado de México en tercer lugar con 336 t; quedando Tlaxcala en segundo lugar, con un volumen de 1,268 t y Puebla fue el primer lugar con una producción de 3,750 t (SIAP, 2021).

En el estado de Puebla, para el año 2020, el tercer lugar en producción de amaranto era el municipio de Atzitzihuacán, que produjo un volumen de 363.3 t; en segundo lugar, se encontraba Cohuecan, con 472.85 t y en primer lugar el municipio de Tochimilco con un volumen 2,576.4 t de amaranto (SIAP, 2020). En este municipio se lleva a cabo el cultivo de amaranto debido a que los pobladores tienen el conocimiento de su manejo y pueden obtener un beneficio económico por la venta del grano debido a su calidad (Sánchez – Olarte *et al.*, 2016).

Durante el cultivo del grano de amaranto algunos productores en México hacen uso de las hojas en forma de verdura, las cuales se consumen jóvenes y reciben el nombre de “quintoniles”, una clase de “quelites”. Las hojas generalmente se comen cocidas durante la estación de lluvias (Mapes *et al.*, 2012). Otro uso que se da a las hojas de amaranto es como forraje para alimentar animales (Cervantes, 1986). A pesar de estos usos, las hojas pasan a formar parte de los residuos durante la cosecha del grano de amaranto, que junto a tallos, envolturas de grano, etc., conforman residuos agrícolas que no cuentan con un valor agregado o uso productivo, por lo que permanecen en el terreno, ya sea que queden almacenados o sean eliminados a través de la quema, actividad que, debido a la emisión de CO<sub>2</sub> y otros gases, genera contaminación atmosférica, además de que se desaprovecha el valor alimenticio contenido en estos subproductos (Manterola *et al.*, 1999).

El presente trabajo pretende el análisis de la hoja de amaranto para la determinación de los antioxidantes contenidos en ella, para después integrar la hoja a la tortilla de maíz. En este sentido, se han llevado a cabo estudios sobre antioxidantes en el amaranto, tal como el de López - Mejía *et al.* (2014a) en donde se estudió la capacidad antioxidante y el contenido fenólico total de extractos de semillas y hojas de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*), donde obtuvieron capacidades antioxidantes de hasta

1070 equiv. de Trolox (mg / 100 g de peso seco) y fenólicos totales, de 619 equiv. de ácido gálico (mg / 100 g peso seco); y López - Mejía *et al.*, (2014b) que evaluaron la capacidad antioxidante de subproductos de limpieza de semillas de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*), encontrando que hubo diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre disolventes, 3.39 mg ET/g materia seca con metanol y 1.28 mg ET/g materia seca con etanol, además de determinar que existe un efecto en la capacidad antioxidante con respecto a la concentración del disolvente utilizado, encontrando valores mayores al utilizarlos al 50%, donde los valores fueron de 21.34 mg ET/g materia seca con metanol y 21.82 mg ET/g materia seca con etanol.

## **II. JUSTIFICACIÓN.**

El amaranto es una planta de gran importancia debido al contenido nutricional de su grano, sin embargo, las hojas solo son consumidas por algunas personas cuando son jóvenes o se utilizan como alimento para animales, el resto pasa a formar parte los residuos agrícolas que en ocasiones son quemados, generando contaminación atmosférica. Debido a esto, el presente trabajo pretende analizar el contenido de antioxidantes en las hojas de amaranto, para incorporarlos a la tortilla a través de una metodología accesible, que pueda estar al alcance de los productores de amaranto. Con este proyecto se coadyuba en alcanzar los objetivos 2 y 3 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, Hambre Cero, el cual procura lograr la seguridad alimentaria, mejorando la nutrición y promoviendo la agricultura sostenible, y Salud y Bienestar, el cual pretende garantizar una vida sana y promover el bienestar. Así mismo, existe pertinencia en su estudio dentro del campo de las Ciencias Ambientales debido a que se requiere un abordaje interdisciplinario que procure la comprensión de la dinámica existente.

## **III. MARCO DE REFERENCIA.**

### **3.1 Marco teórico.**

#### **3.1.1 Antecedentes.**

##### **3.1.1.1 Historia del Amaranto.**

El amaranto es una planta que se ha cultivado en México desde la época prehispánica, teniendo gran importancia como alimento y elemento simbólico (Morán *et*

al., 2012). De acuerdo con Rojas (1991), es una de las plantas con mayor antigüedad en el continente americano, ya que se han encontrado restos de sus semillas, de hace 7,000 años, en Tlapacoyan, y otras en Tehuacán, de hace 5,500 años. En particular, los restos más antiguos de la especie domesticada de *Amaranthus hypochondriacus* son de hace 1,500 años en Coxcatlán (Rojas, 1991). El amaranto fue cultivado por los Aztecas junto al maíz, frijol y calabaza en el valle de México (FAO, 2015) quienes lo ofrendaban en fiestas mensuales que se hacían conforme a su calendario solar, siendo conocido por los nombres de *huauhtli*, *quilitl*, quelite, amaranto y bleado (Montúfar, 2012), era utilizado para formar una masa a la que denominaban *tzoalli*, para crear figuras de entidades divinas que eran usadas en ceremonias, para después ser consumidas por los asistentes. La importancia del *huauhtli* disminuyó debido a que a los españoles les sorprendió su uso en los rituales locales, lo que llevó a reducir el cultivo, además de que el desarrollo de la evangelización limitó las ceremonias que se realizaban. (Morán *et al.*, 2012). En la actualidad, existen sitios en México en los que se sigue practicando tal actividad, como es el caso de Temalacatzingo, Guerrero, en dónde se crean figuras de masas de amaranto que se utilizan en ceremonias para propiciar las lluvias (Montúfar, 2012).

### **3.1.1.2 Clasificación botánica del Amaranto.**

El amaranto pertenece a la familia de las amarantáceas, es una planta herbácea o arbustiva anual correspondiente al género *Amaranthus*, que comprende cerca de 70 especies, dentro de las cuales se encuentran *Amaranthus cruentus*, *Amaranthus hypochondriacus* y *Amaranthus caudatus*, los cuales son los más importantes para la producción de grano, así como *Amaranthus tricolor*, *Amaranthus blitum*, *Amaranthus dubius* y *Amaranthus virides*. Todos los amarantos manifiestan fenotipos variados que se adecuan a diferentes condiciones climáticas (Espitia *et al.*, 2010 y FAO, 2015). El amaranto se atribuye a la familia de las dicotiledóneas y aunque produce semillas ricas en almidón, como los cereales, no es asignado a estos dado que los cereales son gramíneas monocotiledóneas, desde el punto de vista botánico (Belton y Taylor, 2002). Su altura varía entre las especies, de entre 0.5 y 3 m, sus flores llegan a los 90 cm de longitud, conformadas por pequeños racimos, erectas total o parcialmente o pueden colgar (Belton y Taylor, 2002), el color de las plantas es variado, desde un verde oscuro hasta el magenta, pasando por una gama de colores intermedios y sus combinaciones.

La hoja es elíptica con una punta aguda y base cuneada, cuyo tamaño varía dentro y entre las especies (Espitia *et al.*, 2010). Tiene una raíz pivotante con numerosas ramificaciones y raicillas delgadas, las cuales se despliegan después de que el tallo comienza a ramificarse, lo cual facilita la absorción de agua y nutrientes. La raíz principal es el sostén de la planta, manteniendo el peso de la panoja o inflorescencia (FAO, 2015). Sus semillas miden aproximadamente 1 mm de diámetro. El amaranto lleva a cabo la fotosíntesis a través de la vía C4, utilizando eficientemente el CO<sub>2</sub>, fijándolo en los cloroplastos de las células que rodean los haces vasculares en las hojas, debido a lo cual se tienen menores pérdidas de agua a través de la transpiración, asociado a las estomas (Belton y Taylor, 2002).

En México se tienen variedades de la especie *Amaranthus hypochondriacus* en la Ciudad de México, Estado de México, Tlaxcala y en las partes altas de Puebla, en tanto que variedades de *Amaranthus cruentus* se siembran en la zona semitropical del estado de Morelos y en Puebla (Espitia *et al.*, 2018). Délano – Frier y Martínez - Gallardo (2012) identificaron genes en *Amaranthus hypochondriacus* “potencialmente asociados con mecanismos de compensación de fotosíntesis, síntesis y degradación de almidón, síntesis e hidrólisis de sacarosa, movilización de carbohidratos y señalización por azúcares, entre otros”, que le permiten tener una extraordinaria tolerancia a la defoliación, ya sea causada mecánicamente o por insectos masticadores, la cual podría estar basada en “una eficiente utilización, movilización y recuperación de las reservas de carbohidratos”.

### **3.1.1.3 Usos del Amaranto.**

#### **3.1.1.3.1 Grano.**

Los usos del grano son variados, ya sea utilizándolo directamente o en forma de harina. Se preparan diferentes tipos de “alegría”, con miel o piloncillo, pueden estar mezcladas con otros granos y ser de distintos sabores como chocolate, nuez, cajeta, yogurt y fresa; también se preparan panes, pays, atoles, tamales, hot cakes, churros, frituras, galletas, tortillas enriquecidas, mazapanes, agua, pulque, granola, entre otros alimentos (Morán *et al.*, 2012). Cabe mencionar que, debido a que el amaranto no contiene gluten, su harina se puede agregar en cantidades de 20 a 25% en la preparación

de pan y pastas que pueden ser consumidas por personas celiacas, aportando proteína de alta calidad, fibra y minerales (Belton y Taylor, 2002 y Alvarez-Jubete *et al.*, 2010).

#### **3.1.1.3.2 Hoja.**

Las hojas de la planta de amaranto se comen en forma de verdura cuando son jóvenes, ya sea cocidas o crudas. En México se le conoce como "quintoniles", una clase de "quelites", palabra que deriva del término náhuatl "quilitl", que significa verdura. Tal es el caso de la Sierra norte de Puebla, en dónde se consumen las hojas de las especies *A. hybridus*, *A. hypochondriacus*, *A. cruentus* y sus híbridos, así como *A. spinosus*. Estas especies se encuentran fácilmente debido a que se comportan como malezas o arvenses en algunos agroecosistemas. Los quintoniles se recolectan, y son preparados en guisados, particularmente las del "quintonil rojo" (*A. hypochondriacus* L.) llamadas también "chichiquelit" o bien, estas se cuecen, exprimen y se fríen (Mapes *et al.*, 2012).

#### **3.1.1.4 Cultivo del Amaranto.**

El amaranto es un cultivo capaz de crecer en regiones semiáridas, ya que se adapta a diversos ambientes y no requiere grandes cantidades de agua, así como en condiciones de salinidad leve y moderada, con efectos mínimos en el rendimiento, y puede cultivarse en cualquier elevación (Omamt *et al.*, 2006 y WWF, 2019).

Las fases fenológicas del amaranto se describen a continuación, de acuerdo con lo presentado por Mujica y Quillahumán (1989) y Henderson (1993):

**Emergencia:** Las plántulas emergen del suelo y se observan dos cotiledones extendidos. Un 50% de la población se encuentra en este estado. El estado puede durar de 8 a 21 días, lo que dependerá de las condiciones climáticas.

**Fase vegetativa:** Determinadas por el número de nudos en el tallo principal donde las hojas se encuentran por lo menos 2 cm extendidas. El primer nudo corresponde al estado V1, el segundo es V2, y así sucesivamente. La planta empieza a ramificarse en estado V4.

**Fase reproductiva:** Inicio de panoja (R1) El ápice de la inflorescencia es visible, el estado se observa entre 50 a 70 días después de siembra. Panoja (R2) La panoja tiene como mínimo 2 cm de largo. Término de panoja (R3) La panoja tiene mínimo 5 cm de

largo. Antesis (R4) La planta cuenta con al menos una flor abierta, mostrando sus estambres separados y el estigma es visible. Llenado de grano (R5) La antesis del eje central de la panoja se ha completado en un 95%. Madurez fisiológica (R6) El cambio de color en la panoja es utilizado como indicador de esta fase, las panojas verdes cambian de verde a color oro, las panojas rojas cambian de rojo a café rojizo; las semillas son duras. Madurez de cosecha (R7) La planta tiene aspecto seco de color café, las hojas senescen y caen.

#### **3.1.1.4.1 Grano.**

El cultivo comienza llevando a cabo el barbecho, cuando el suelo tenga una humedad adecuada que facilite la remoción de la capa superior hasta una profundidad de 25 cm, haciendo uso de arado de discos o rejas, para proseguir con el rastreo, en el cual se desmoronan aquellos terrones que se hayan formado. Esta actividad favorece una germinación uniforme de la semilla, así como la emergencia de las plántulas, además de ayudar a la eliminación de la primera generación de maleza. Posteriormente se realiza el surcado, el trazo de los surcos se realiza perpendicularmente a la pendiente para evitar arrastre de suelo o de semillas (Espitia *et al.*, 2018).

La siembra puede realizarse de forma manual “mateada” o mecanizada. La primera consiste en acondicionar una mezcla homogénea de estiércol o lombricomposta que deben ser tamizados con las semillas, para después colocar la mezcla en las rayas trazadas en los taludes de los surcos, depositando de 5 a 8 semillas cada 20 cm para obtener una buena densidad de población. En el caso de la siembra mecanizada, se puede hacer uso de una sembradora para grano pequeño, con la cual se puede surcar, sembrar, fertilizar y cubrir la semilla. Aquí la semilla es colocada en los botes dosificadores de la máquina, misma que debe estar calibrada para permitir un ahorro de semilla que puede ser hasta de un 50% (Espitia *et al.*, 2018).

A los 20 días de emergencia de las plántulas, al tener 10 o 15 cm de altura, se realiza el aclareo, dejando de 3 a 4 plantas cada 20 cm, eliminando plántulas enfermas, pequeñas o de poco vigor. Cuando el cultivo tenga 30 días de crecimiento, se realiza el control de malezas, arrancándolas manualmente o con azadón. A los 40 días de la emergencia se hace el aporque, labor que radica en arrimar tierra al pie de las plantas

para el desarrollo de sus raíces y mantener la humedad, utilizando azadón o escardas. En el día 50 se lleva a cabo nuevamente el control de malezas (Espitia *et al.*, 2018).

Después de 5 o 6 meses se hace la cosecha, cuando las panojas ya están bien desarrolladas y las plantas están grandes (Mapes *et al.*, 2012). Esta puede ser manual, con hoz o machete, cortando las panojas y formando un montículo para que se sequen; o mecánica, utilizando trilladoras para cereales con algunos ajustes y se realiza cuando las panojas estén libres de humedad. Una vez secas, las panojas se trillan, ya sea golpeándolas con una vara en una lona o dentro de un costal de rafia, o pasando el tractor arriba de ellas u otro instrumento pesado. Después se eliminan las impurezas a través de alguna criba, harnero o con ayuda del viento para eliminar tierra, pedriscos o compuestos ferrosos (Espitia *et al.*, 2018 y Mapes *et al.*, 2012). El almacenamiento de la cosecha debe hacerse cuando el grano contenga menos del 14% de humedad, en un sitio fresco y seco. Antes de utilizar el grano se recomienda lavarse para eliminar polvo u otro contaminante (Espitia *et al.*, 2018).

#### **3.1.1.4.2 Hoja.**

En el cultivo de amaranto, durante las actividades de aclareo, a los 20 días de emergencia de las plántulas, pueden recolectarse las hojas de la planta para su consumo en forma de “quelite”, que es cuando aún están tiernas (Espitia *et al.*, 2018 y Mapes *et al.*, 2012). Así mismo, las hojas de amaranto son recolectadas en sitios dónde se lleva a cabo el cultivo de maíz, frijol, calabaza, chilacayote o café, en dónde son arrancadas periódicamente, lo que retrasa la floración y permite varias cosechas de hojas para su consumo. Posteriormente, se procura su crecimiento al dejar que algunas plantas alcancen su madurez para que las semillas vuelvan a germinar en el siguiente ciclo agrícola (Mapes *et al.*, 2012).

#### **3.1.1.4.3 Residuos Agrícolas.**

Los residuos agrícolas son productos que se generan en procesos agrícolas o agroindustriales que no cuentan con un valor agregado o con un uso productivo y están conformados por residuos vegetales e insumos productivos (Manterola *et al.*, 1999 y Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [SAGARPA], 2015). Los residuos vegetales se componen principalmente de tallos, hojas,

envolturas de granos, entre otros y pueden conformar de un 50 hasta un 70% de la biomasa producida en los cultivos, permaneciendo en los terrenos para su eliminación o disposición. Esta disposición puede ser a través de su incorporación al suelo, por compostaje, como alimento para ganado, a través de su mezcla con residuos urbanos o la quema, actividad que genera contaminación atmosférica debido a la emisión de CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto invernadero, además de que se pierde la energía contenida en forma de calor, ya que los residuos pueden contener materia orgánica y minerales, con valor alimenticio que no es aprovechado (Manterola *et al.*, 1999 y SAGARPA, 2015).

En 2017, la FAO contabilizó un total de 374'744,342.5 Kg de nutrientes de residuos agrícolas, no obstante, estos datos solo incluyen a los residuos de los cultivos de arroz, avena, cebada, centeno, frijol, maíz, papas, soja, sorgo y trigo, no contabilizando los residuos por amaranto. Con respecto a la contaminación ambiental generada por la quema de residuos agrícolas totales en México, se registraron 21.9152 giga gramos de CH<sub>4</sub> y 0.5682 giga gramos de N<sub>2</sub>O, lo correspondiente a 636.3525 giga gramos de CO<sub>2</sub>eq (FAOSTAT, 2020).

#### **3.1.1.4.4 Tochimilco.**

El municipio de Tochimilco se localiza en la parte centro oeste del estado de Puebla, a una altitud aproximada de 2,060 m sobre el nivel del mar. Colinda al norte con el municipio de San Nicolás de Los Ranchos, al sur con los municipios de Atzitzihuacan y Cohuecán, al este con los municipios de Tianguismanalco y Atlixco y al oeste con el estado de Morelos y el volcán Popocatepetl (INAFED, 2020).

Tochimilco presenta una transición de los climas templados del Valle de Atlixco y los fríos de las partes altas de la Sierra Nevada, la temperatura media anual oscila entre los 12 y los 18°C, identificándose cuatro climas: el semicálido subhúmedo con lluvias en verano, que corresponde a las áreas bajas del municipio; el templado subhúmedo con lluvias en verano, que es el que predomina en el municipio y se presenta en las faldas inferiores de la sierra nevada; el semifrío subhúmedo con lluvias en verano, que se identifica en la zona intermedia de las faldas inferiores de la sierra y las partes más altas del volcán Popocatepetl y el clima frío, localizado en las zonas más elevadas de este volcán. El municipio corresponde a la cuenca del río Atoyac, cuenta con arroyos

intermitentes que proceden del volcán Popocatepetl y ríos permanentes como el río Atila, Huetzoyo y el Matadaro (INAFED, 2020).

Con respecto al suelo, Tochimilco cuenta con una variedad de suelos: andosol, que se identifica en un área al suroeste; regosol, situado en la porción meridional y la zona intermedia de las faldas inferiores de la sierra nevada y las partes más elevadas del Popocatepetl; cambisol; feozem, que se encuentran en una extensa área en las faldas inferiores de la sierra nevada; fluvisol, en el sur y litosol, situado en las partes más altas del volcán (INAFED, 2020).

Las principales actividades económicas en el municipio de Tochimilco son las agropecuarias y el comercio (INAFED, 2020). En este municipio se lleva a cabo el cultivo de amaranto debido a que los pobladores tienen el conocimiento de su manejo y pueden obtener un beneficio económico por la venta del grano debido a su calidad. El cultivo se realiza a través de un manejo tradicional y uno tecnificado. El primero persiste debido a que los productores cuentan con el conocimiento, así como con herramientas y animales que pueden utilizar en diversas actividades agrícolas y que han sido ajustados a sus conocimientos. Este manejo incluye prácticas como la rotación y asociación de cultivos, técnicas de conservación de suelo, uso de herramientas manuales y de tracción animal, abonos orgánicos, uso de semillas criollas, usos de mano familiar, entre otras (Sánchez – Olarte *et al.*, 2016).

### **3.1.1.5 Composición del amaranto.**

#### **3.1.1.5.1 Grano.**

El grano de amaranto cuenta con un alto contenido de proteínas, que van del 15 al 18%, tales como la lisina, aminoácido limitante en los cereales (Becker *et al.*, 1981 y Silva, 2007). Esta composición de aminoácidos en el amaranto es homogénea, encontrando mayormente el aspártico, glutámico, serina, glicina y leucina; por lo que se considera que el amaranto cuenta con una fuente de proteínas equilibrada. Cabe destacar al amaranto como fuente rica de triptófano, el cual no es de gran abundancia en los vegetales (Juan *et al.*, 2007).

Así mismo, contiene un alto porcentaje de carbohidratos, ya que el almidón está presente en un 62% del peso total del grano, así como en lípidos, con valores de entre

7.9 y 8.9%, contando con aceite de alto grado de insaturación como ácido linoleico, ácido linolénico y ácido estérico; también contiene fibras y minerales tales como sodio y calcio, cuyos valores son más altos que en los cereales (Becker *et al.*, 1981 y Silva, 2007).

En lo referente a antioxidantes, Vollmannová *et al.*, (2013) encontraron un contenido de polifenoles totales en la semilla de amaranto en el intervalo de 21,017.63 mg GAE/Kg DM hasta 71, 359.17 mg GAE/ Kg DM, así como una capacidad antioxidante de entre 10.95 mmol TE/Kg DM hasta 23.66 mmol TE/Kg DM.

#### **3.1.1.5.2 Hoja.**

La hoja de amaranto también cuenta con un alto valor de proteína de acuerdo con Mapes *et al.* (2014.) que determinó un contenido de 5.7 a 6.9 g/100 g; y se considera que tienen poca energía dado que los hidratos de carbono están presentes en un rango de 2.5 a 8.12 g/100 g. Las hojas cuentan con fibra (1.97 – 8.51 g/100 g) y con nutrimentos orgánicos, tales como calcio (497.15 – 699.00 mg/100 g), potasio (1445.76 – 1651.00 mg/100 g), magnesio (167.00 – 244.24 mg/100 g), fósforo (134.35 g/100 -205.96 g/100 g), siendo estos los de mayor concentración y hierro (0.71 – 1.61 mg/100 g), sodio (6.0 – 16.55 mg/100 g) y cinc (0.069 – 0.64 mg/100 g), los de menor concentración. El contenido de vitaminas en la hoja está conformado por riboflavina (B2), tiamina (B1) y niacina (B3).

De igual forma, en las hojas de amaranto se han encontrados metabolitos antioxidantes como betacianina (amarantina) con un contenido de 1.0 a 2.0 mg/g; ácido ascórbico, 80 – 250 mg, monosacáridos como glucosa 2 – 3%, fructosa 1 – 2% y sacarosa entre 3 – 4%; compuestos fenólicos en un porcentaje de peso absoluto que va de 0.50 a 0.67, flavonoides de 3.77 a 4.30 % (Gins *et al.*, 2016).

#### **3.1.1.5.3 Antioxidantes.**

Un antioxidante es cualquier sustancia que, estando presente en bajas concentraciones comparadas con las de un sustrato (biomoléculas), retrasa significativamente o previene la oxidación de un sustrato (Halliwell *et al.*, 1995). Su clasificación es la que se señala a continuación:

Endógenos: Son aquellos dotados por el propio organismo y se dividen entre enzimáticos y no enzimáticos. Los enzimáticos aceleran reacciones químicas que utilizan sustratos

que a su vez reaccionan con los radicales libres, ejemplos de ellos son superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT) y glutatión peroxidasa (GPX). Los no enzimáticos se ubican en la matriz citoplasmática, matriz mitocondrial y nuclear y en fluidos extracelulares, incluyen a glutatión en su forma reducida (GHS), ácido úrico, albúmina y ubiquinona (Montero, 1996).

Exógenos: Son los que ingresan al organismo a través de la dieta. De acuerdo con Montero, (1996) se clasifican en vitaminas antioxidantes como ácido ascórbico y vitamina E (Figura 1); compuestos pro – vitamina A tales como alfa y beta carotenoides y otros carotenoides entre los que se encuentran luteína, licopeno, zeaxantina y capxantina (Figura 2) y polifenoles, grupo en el que se encuentran los flavonoides (Figura 3) y los no flavonoides (Figura 4).

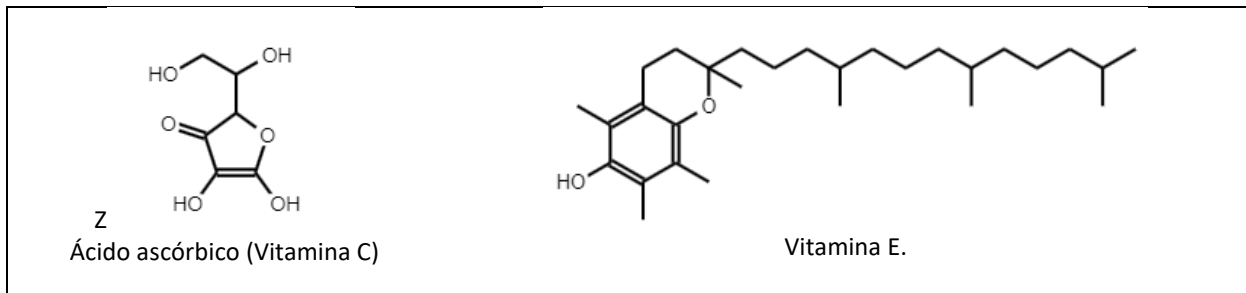


Figura 1. Vitaminas antioxidantes.

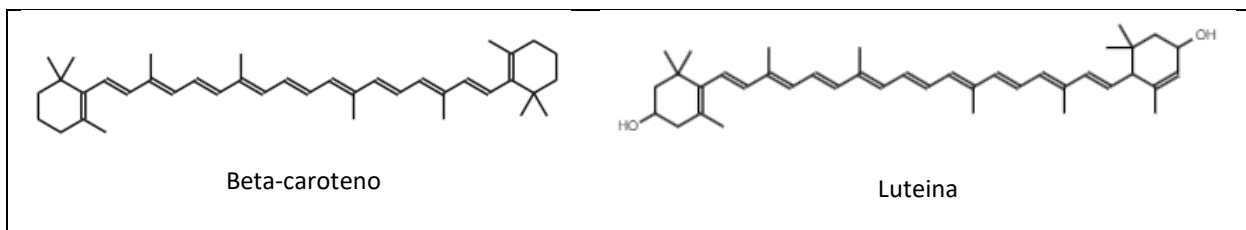


Figura 2. Compuestos Pro-Vitamina A.

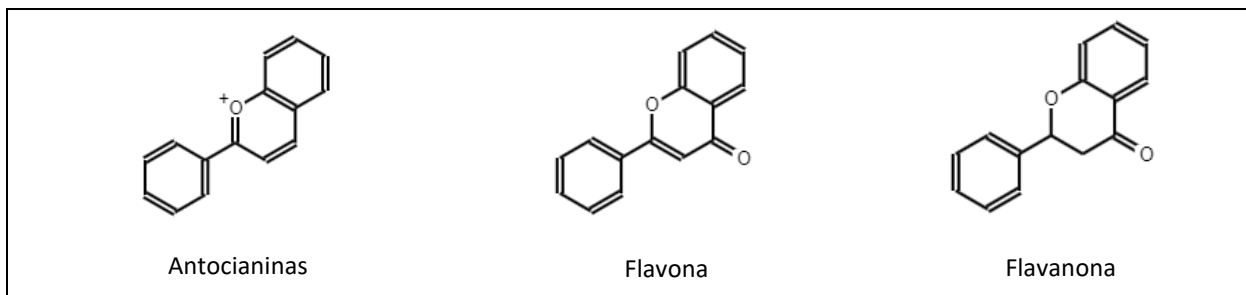


Figura 3. Flavonoides

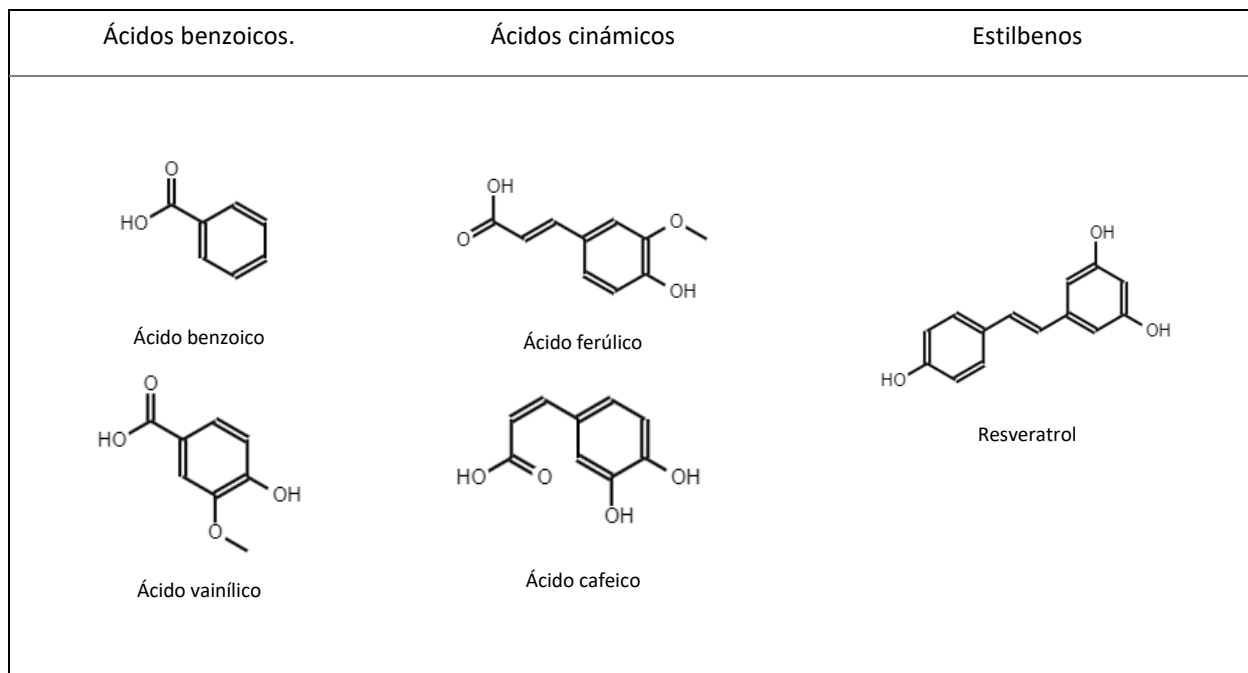


Figura 4. No Flavonoides

En el amaranto, López - Mejía *et al.*, (2014a) estudiaron la capacidad antioxidante y el contenido fenólico total de extractos de semillas y hojas de amaranto, a través de dos métodos de extracción con metanol, etanol y hexano como disolventes. Se obtuvo un efecto significativo ( $p \leq 0.05$ ) en la capacidad antioxidantes y fenoles totales. Las mayores capacidades antioxidantes, de hasta 1,070 equiv. de Trolox (mg / 100 g de peso seco) y fenólicos totales, de 619 equiv. de ácido gálico (mg / 100 g peso seco), el metanol fue un mejor disolvente de extracción para las semillas de amaranto, en tanto que para las hojas fue el etanol. Los extractos de hojas de amaranto presentaron mayor capacidad antioxidante que los de las semillas.

De igual forma, López - Mejía *et al.*, (2014b) evaluaron la capacidad antioxidante de subproductos de limpieza de semillas de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*), que contenían restos de flores, semillas vanas y cascarilla, en el municipio de Tehuacán Puebla, utilizando metanol y etanol de disolventes, en forma absoluta (100%) y diluida (70 o 50%), encontrando que no existe diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) entre los métodos utilizados para la extracción, en tanto que si hubo diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre los disolventes, 3.39 mg ET/g materia seca con metanol y 1.28 mg ET/g materia seca con

etanol. Así mismo, existe un efecto en la capacidad antioxidantes con respecto a la concentración del disolvente utilizado, encontrando valores mayores al utilizarlos al 50%, donde los valores fueron de 21.34 mg ET/g materia seca con metanol y 21.82 mg ET/g materia seca con etanol. Los principales componentes antioxidantes encontrados fueron 2-metoxi-4-vinil fenol, escualeno y 2,5-bis (1,1-dimetietil) fenol.

### **3.1.1.6 Tortilla.**

La tortilla es el componente de mayor importancia en la alimentación en México, siendo la principal fuente calórica y de otros nutrientes esenciales. En las zonas urbanas, el CONEVAL estimó un consumo de 56.7 Kg/año, en tanto que en el medio rural este es de 79.5 Kg/año (CEDRSSA, 2014).

La tortilla de maíz blanca contiene 8.03 % de proteína, 68.47 % de almidón total y 4.47% de lípidos, en tanto, la de maíz azul cuenta con un 9.56 % de proteína, 74.90% de almidón total y 2.60% de lípidos (Hernández, 2008). Hernández – Martínez *et al.* (2016) determinaron en la tortilla de grano azul/ púrpura un contenido total de antocianinas de entre 3.67 y 1.11 mg equivalentes de cianidina 3-glucósido/kg muestra seca, la cual se correlacionó con la actividad antioxidante, así como una variación de 9.42 a 5.12 mg equivalentes de ácido gálico/ Kg muestra seca de fenoles solubles totales. Anteriormente se ha incluido el amaranto en la tortilla de maíz (Sánchez – Marroquín *et al.*, 1987) mediante la adición de harina de su grano, consiguiendo un contenido más alto de proteína, de entre 9.2 – 12%; grasa, en un rango de 1.8 a 4.9%; fósforo, de 231 a 370 mg %) y de ácido linoleico, de entre 41 y 56.8%; no mostrando diferencia considerable con respecto a la apariencia, aroma, textura o sabor; no obstante, el contenido de lisina se encontró disminuida en la mezcla.

Por otra parte, el sistema de elaboración artesanal de tortilla se mantiene principalmente en las familias del medio rural. En este sistema el grano de maíz es nixtamalizado a través de la aplicación de calor, a un recipiente que contiene el grano, agua y cal, con un tiempo de reposo de 4 a 6 horas, para proseguir con la molienda con la ayuda de un metate de piedra o con molinos mecánicos, obteniendo la masa. Se toma una porción de ésta y se aplana en forma circular, sea con las manos o utilizando una máquina manual que la aplasta. La tortilla cruda se cuece en un comal de barro o de metal. Así mismo, la nixtamalización y molienda pueden sustituirse al hacer uso de harina

de maíz en lugar del grano para reducir el tiempo de elaboración e insumos, no obstante, no se reproduce el sabor, consistencia y nutrientes (CEDRSSA, 2014).

### 3.2 Marco conceptual.

#### 3.2.1 Tipo de investigación.

Enfoque cuantitativo. Este enfoque utiliza la recolección de datos para la comprobación de hipótesis, basándose en la medición numérica, así como en el análisis estadístico, para el establecimiento de patrones de comportamiento y probar teorías. Es secuencial, por lo que cada etapa precede a la siguiente, teniendo un orden riguroso, aunque se puede redefinir alguna fase. El proceso conlleva los pasos observados en la Figura 5 (Hernández *et al.*, 2014):

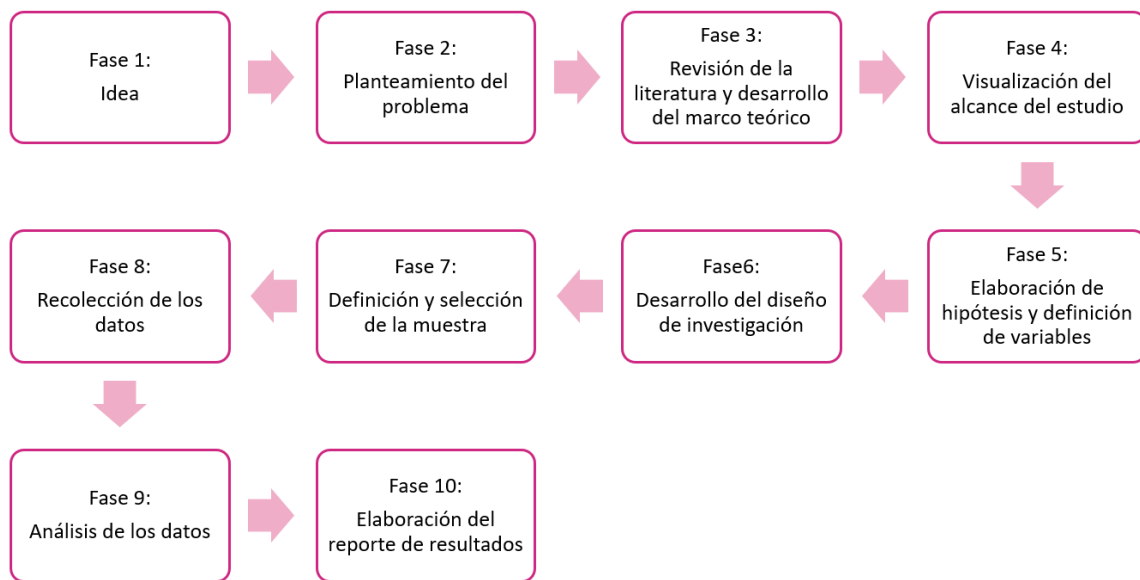


Figura 5. Proceso Cuantitativo (Hernández *et al.*, 2014)

En una investigación con enfoque cuantitativo se pueden tener los siguientes alcances de investigación (Hernández *et al.*, 2014): Exploratorio, descriptivo, correlacional, explicativo.

El enfoque correlacional mide el grado de relación existente entre dos o más conceptos o variables. Se miden las dos o más variables de las que se pretende conocer si están o no relacionadas en los mismos sujetos para posteriormente analizar la

correlación. Su propósito es saber cómo se puede comportar un concepto o variables conociendo el comportamiento de otra u otras variables relacionadas.

El presente estudio tiene un alcance correlacional porque se pretende encontrar la relación existente entre los días de crecimiento de la planta de amaranto con la capacidad antioxidante y el contenido de fenoles totales en la hoja.

Enfoque cualitativo. En este enfoque se recolectan datos sin medición numérica para descubrir o afinar preguntas de investigación en un proceso de interpretación, por lo tanto, estas preguntas de investigación o hipótesis pueden ser desarrolladas antes, durante o después de la recolección y el análisis de datos; debido a esto, este enfoque no cuenta con un proceso secuencial. Para la recolección de datos se utilizan técnicas como la observación no estructurada, entrevistas abiertas, revisión de documentos, discusión en grupo, evaluación de experiencias personales, registro de historias de vida, así como la interacción e introspección con grupos o comunidades. El proceso varía de acuerdo con cada estudio particular (Hernández *et al.*,2014).

El proyecto conlleva también un enfoque cualitativo debido a que se pretenden conocer algunas características particulares del cultivo de amaranto a través de la aplicación de entrevistas a productores de la planta de amaranto.

### **3.2.2 Paradigma.**

El paradigma que sustenta la presente investigación es constructivista (Araya *et al.*, 2007) debido a que este permite el conocimiento a través del método científico, lo cual será aplicable en las mediciones de capacidad antioxidante y contenido de fenoles totales en las hojas de amaranto, así como desde el conocimiento con el que cuentan los individuos o las comunidades, como en el caso de las prácticas que realizan los productores en el cultivo del amaranto.

### **3.2.3 Enfoque epistemológico.**

En el presente estudio se tendrá un enfoque epistemológico empirista-realista, de acuerdo con Padrón (2007), debido a que la fuente del conocimiento a generar conlleva la realización de experimentos y mediciones, así como una inducción controlada para la observación de un fenómeno.

### **3.2.4 Teorías que soportan la investigación.**

Teorías de sistemas dado que, acorde con Araya *et al.*, (2007) en esta “se considera a los seres humanos como sistemas activos, auto constructores, abiertos y en desarrollo, en dónde las personas son percibidas como capaces de producir su propio desarrollo, de dar dirección, control y autorregulación a su propia conducta”, lo cual es muy importante debido a que el cultivo de amaranto en el municipio de Tochimilco se lleva a cabo de acuerdo a los conocimientos adquiridos por la misma población, modificándose de acuerdo con las necesidades presentadas.

### **3.2.5. Conceptos utilizados.**

Antioxidante. Alimentos funcionales, de origen animal o vegetal, que disminuyen los efectos de las especies reactivas.

Cuneada. Hoja triangular, que cuenta con la punta en contra del pie o tronco de la planta.

Dicotiledóneas. Planta que cuenta con dos hojas iniciales durante las primeras etapas de su desarrollo.

Fenotipo. Característica de un individuo que puede ser observada.

Monocotiledóneas. Planta que solo cuenta con una hoja en su embrión.

### **3.3 Marco Legal.**

Norma Mexicana NMX-FF-116-SCFI-2010. Productos agrícolas destinados para consumos humano – Grano reventado de amaranto (*Amaranthus* spp.) para uso y consumo humano – Especificaciones y Métodos de Ensayo.

Su objetivo pretende establecer especificaciones y los métodos de ensayo aplicables al grano de amaranto (*Amaranthus* spp.) reventado para consumo humano. No obstante, al pretender hacer uso de las hojas para consumo humano, se procurará apegar a los requisitos de la presente norma en los puntos que puedan aplicar en las condiciones de las hojas.

Norma Oficial Mexicana NOM-043-SSA2-2012. Servicios básicos de salud. Promoción y educación para la salud en materia alimentaria. Criterios para brindar orientación.

En esta norma se presenta el concepto de antioxidantes como: “las sustancias que previenen la oxidación y ayudan a mantener la integridad celular inactivando a los radicales libres que pueden causar daño celular” señalando como los principales a la vitamina C y E, carotenoides, fenoles y flavonoides. Así mismo, se señalan las características de una dieta correcta, entre las que se encuentran la suficiencia, referida a cubrir necesidades de nutrimentos, así como adecuada, esto es, acorde a los gustos y cultura de los consumidores y ajustada a sus recursos, lo cual se puede llevar a cabo con la adición de un recurso al alcance de los productores, hoja de amaranto, a un alimento de primera necesidad, la tortilla. Por último, la norma, en su numeral 4.4.10 señala que se debe promover el consumo de nutrimentos antioxidantes.

#### **IV. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.**

##### **4.1 Preguntas de investigación.**

1. ¿Cuál es la capacidad antioxidante y el contenido de fenoles totales en la hoja de *Amaranthus hypochondriacus* en diferentes días de crecimiento?
2. ¿La capacidad antioxidante y el contenido de fenoles totales en la hoja de *Amaranthus hypochondriacus* pueden ser integradas y potencializarse en la tortilla de maíz?

#### **V. HIPÓTESIS.**

##### **5.1 Hipótesis general.**

La hoja de *Amaranthus hypochondriacus* con manejo tradicional presenta capacidad antioxidante y fenoles totales que pueden ser integrados a la tortilla, mediante una metodología accesible.

#### **VI. OBJETIVOS.**

##### **6.1 Objetivo general.**

Analizar la capacidad antioxidante y el contenido de fenoles totales presentes en la hoja de *Amaranthus hypochondriacus* con manejo tradicional, en distintos días de crecimiento, para determinar el que presente mayor contenido que pueden ser integrados en la tortilla de maíz mediante una metodología accesible.

## 6.2 Objetivos específicos.

- Estudiar el sistema del cultivo de amaranto a través de la teoría de sistemas complejos para determinar su propiedad emergente.
- Analizar el contenido nutrimental de la hoja de amaranto, mediante una búsqueda bibliográfica en plataformas digitales.
- Cuantificar la capacidad antioxidante y el contenido de fenoles totales, a diferentes días de crecimiento de la hoja.
- Generar una metodología para el incremento del contenido de antioxidantes de la tortilla.

## VII. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.

### 7.1 Localización.

El estudio se llevó a cabo en el municipio de Tochimilco (Figura 6), el cual está situado en la parte centro oeste del estado Puebla, cuyas coordenadas geográficas son los paralelos  $18^{\circ}49'12''$  y  $49^{\circ}02'54''$  de latitud norte y los meridianos  $98^{\circ}43'00''$  de longitud occidental (INAFED, 2020).

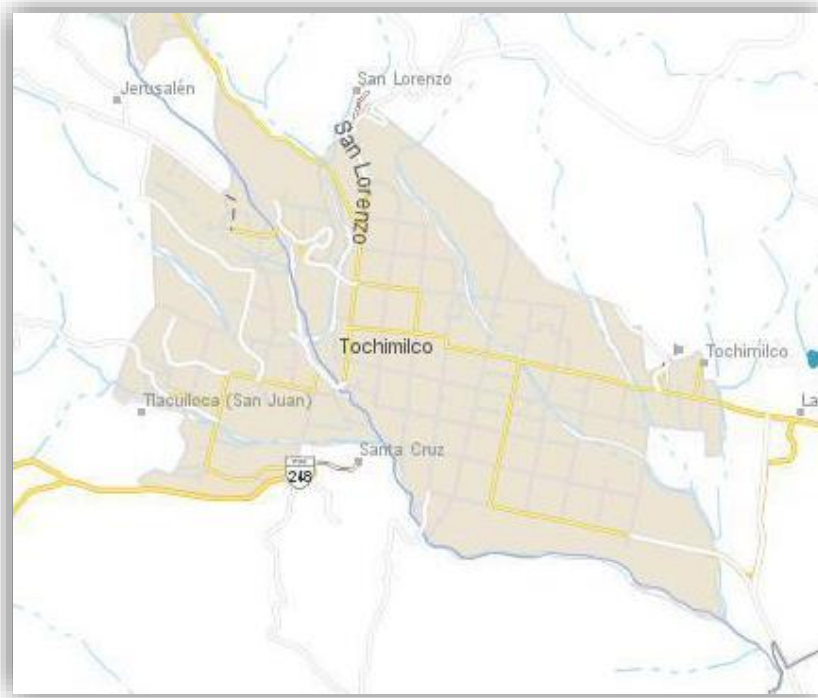


Figura 6. Localización de Tochimilco, Puebla, México (Mapa Digital de México, 2020)

El proyecto se realizó en 3 fases, en la primera se recopiló información y las muestras de hojas de amaranto, en la segunda se desarrollaron actividades en el laboratorio y en la tercera, se hizo trabajo de gabinete, tal como se observa en el Diagrama General de Trabajo (Figura 7) siguiente:

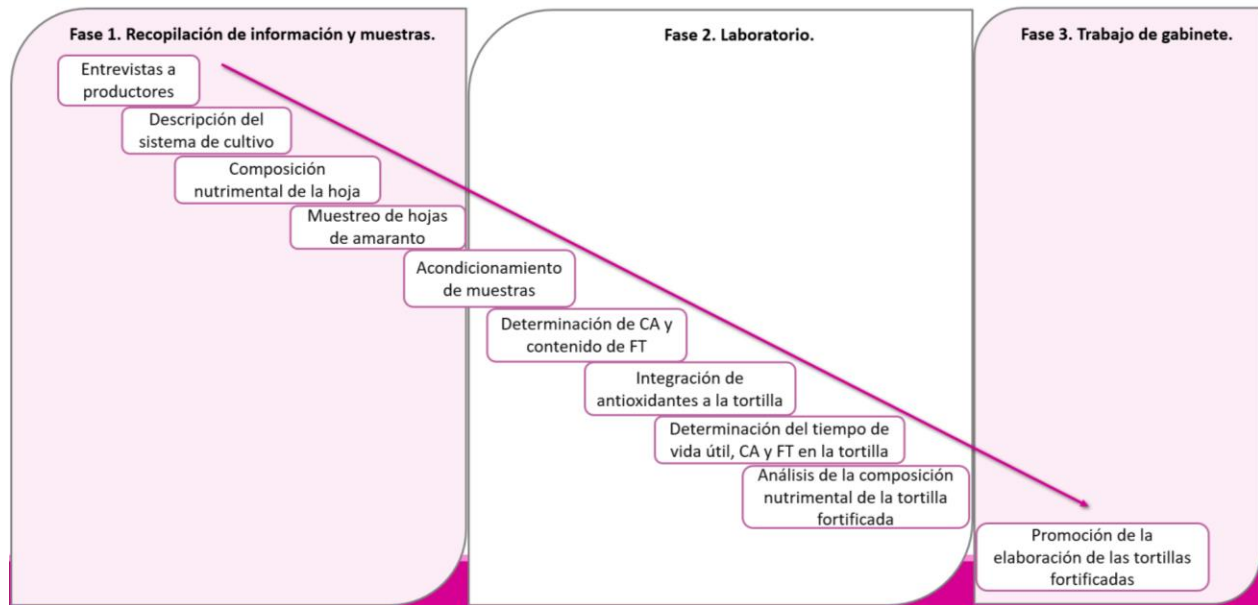


Figura 7. Diagrama General de Trabajo (Elaboración propia)

## 7.2 Fase 1. Recopilación de información y muestras.

### 7.2.1 Aplicación de entrevistas.

En el aspecto social de este trabajo y para conocer algunas características relevantes de la producción de amaranto se aplicaron entrevistas semiestructuradas (Santoyo *et al.*, 2002) a productores de amaranto, mediante un muestreo no probabilístico y por conveniencia que permitiera localizarlos vía telefónica y a quienes tuvieran disposición para proporcionar información de su experiencia en el cultivo de la planta.

### 7.2.2 Descripción del sistema de cultivo de amaranto.

Se realizó la descripción del sistema en el que se lleva a cabo el cultivo de amaranto, así como el suprasistema y el medio en el que se desarrolla, a través de la teoría de sistemas complejos (García R., 2006 y 2011), la búsqueda de información en distintas plataformas digitales, la información recopilada en entrevistas y la generada por diversos autores que han estudiado a este cultivo.

### **7.2.3 Composición nutrimental de la hoja de amaranto.**

Se efectuó la búsqueda de información respecto a la composición nutrimental de la hoja de amaranto existente mediante el uso de plataformas digitales.

### **7.2.3 Muestreo de hojas**

El muestreo de hojas de amaranto se hizo en la parcela de un productor, dónde se recolectaron aquellas hojas que estuvieran en buenas condiciones para su posterior análisis, es decir, hojas que no presentaran signos de plagas o enfermedades, que no estuvieran podridas o secas. La recolección se realizó de acuerdo con la Guía de Recolección de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas (2020), haciendo un corte limpio con tijeras, tomando 2 muestras (hojas) de la misma planta, colocándolas en una bolsa identificada, sin cerrar para que se impida la humedad en el interior. Las muestras se tomaron a los 50, 100 y 150 días de crecimiento de la planta.

### **7.2.4 Acondicionamiento de muestras (1)**

Las hojas se lavaron bajo el chorro de agua para eliminar posibles residuos. Después se dejaron secar a una temperatura aproximada de 18°C, por un periodo de 6 h, evitando la radiación solar. Posteriormente las hojas se molieron en un molino eléctrico para granos marca Hamilton Beach, pesando el material obtenido en una báscula digital, para después pasarlo por dos tamices de diferente tamaño de partícula y así obtener 2 tamaños de muestra distintos. Las hojas molidas y tamizadas se colocaron en bolsas para su almacenamiento en un sitio fresco, seco y resguardadas de fuentes de luz.

## **7.3 Fase 2. Laboratorio**

### **7.3.1 Acondicionamiento de muestras (2)**

Las hojas molidas, de acuerdo con el punto 7.2.4, se utilizaron para la elaborar extractos. Se prepararon colocando 0.5 g de hoja de amaranto molida en 10 mL de agua y en etanol, en frascos cubiertos con papel aluminio para evitar el contacto con la luz solar, se agitaron por 24 horas en un agitador orbital (LEEX, KJ-201BD) durante periodos de 7, 10 y 14 días a una temperatura aproximada de 18 ° C. Se procedió a su filtrado haciendo uso de una bomba de vacío para posteriormente almacenarlos en refrigeración en condiciones de oscuridad hasta su análisis.

## 7.3.2 Determinación de capacidad antioxidante y polifenoles totales.

### 7.3.2.1 Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante se determinó mediante el método del radical DDPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo) desarrollado por Brand-Williams *et al.* (1995), en el que se mide la absorbancia a 517 nm, expresando los resultados en  $\mu\text{M ET/mL}$ .

Se calculará el porcentaje de inhibición mediante la siguiente ecuación.

$$\text{Porcentaje de inhibición} = \left[ \frac{A_0 - A_f}{A_0} \right] * 100$$

*Ecuación 1.*

Donde:

$A_0$ =Control de metanol

$A_f$ = Muestra

En la tabla 1 se observan los experimentos a realizar:

*Tabla 1. Experimentos para determinar capacidad antioxidante.*

Días de crecimiento de las hojas	Capacidad antioxidante DDPH ( $\mu\text{M ET/mL}$ )	Repeticiones
50		4
100		4
150		4

### 7.3.2.2 Polifenoles totales

La concentración de los compuestos fenólicos presentes en la hoja de amaranto se determinó por medio del método Folin-Ciocalteu (Singleton y Rossi, 1965) determinando la absorbancia de la mezcla a 725 nm, se expresa como mg de GAE/g (tabla 2).

Tabla 2. Experimentos para determinar contenido de fenoles totales.

Días de crecimiento de las hojas	Polifenoles totales (mg de GAE/g)	Repeticiones
50		4
100		4
150		4

### 7.3.3 Diseño experimental para la integración de antioxidantes a la tortilla

Se seleccionó el extracto en el que se determinó la mayor capacidad antioxidante de acuerdo con el método del radical DDPH (Brand-Williams *et al.*,1995) en el que se utilizó agua como disolvente, esto debido a la que los productores pueden tener disponibilidad de este insumo y mantener la inocuidad al usar agua potable. Se agregó 1 mL este extracto de hoja de amaranto, a la masa de maíz, ya nixtamalizado y molido, y se mezcló hasta obtener una masa homogénea. Se tomaron porciones de 20 g de masa con extracto, se formó la tortilla de 13.5 cm de diámetro con ayuda de una prensa manual y se colocó en un comal para su cocción.

#### 7.3.3.1 Características de la tortilla fortificada.

Se determinó el diámetro, grosor y peso de las tortillas después de ser elaboradas. El inflado se observó durante el último tiempo de cocción donde se evaluó el tamaño de la ampolla y se le asignó una calificación de acuerdo con la escala propuesta por Figueroa *et al.* (2001). Para determinar la rolabilidad se empleó el método propuesto por Bedolla (1984) haciendo la medición 30 min después de hecha la tortilla. De igual forma se evaluó la resistencia y extensibilidad conforme a lo establecido por Suhendro (1999).

#### 7.3.4 Evaluación de la conservación de antioxidantes y determinación del tiempo de vida útil de la tortilla fortificada

Para la preparación de muestras se procedió de acuerdo con lo establecido por Antolovich *et al.* (2002) y Matsukawa *et al.* (1997). Se utilizó 1 g de tortilla, control y con extracto de hoja de amaranto, en 10 mL de etanol. Ambas muestras se pusieron a evaporar a una temperatura de 35°C por un periodo de 4 h para lo que se utilizó un baño María marca CIVEQ. Las muestras se filtraron con un embudo, reservando el residuo de etanol. Posteriormente se preparó una suspensión de la muestra obtenida con 6 mL de

una mezcla de agua y metanol relación 1:1 y se agregaron 2 mL del etanol reservado con anterioridad, dejando macerar por un periodo de 22 h. Después de este tiempo, la mezcla fue filtrada en un embudo con algodón para proceder con la determinación de antioxidantes. Se procedió a evaluar la capacidad antioxidante de la tortilla fortificada con extracto de hoja de amaranto y un control, de acuerdo con los métodos descritos en el apartado 7.3.1.

Para la determinación del tiempo de vida útil se midió la actividad de agua (Aw) presente en una tortilla control y en la tortilla con extracto de hoja de amaranto, a los días 1, 4, 6 y 8 al igual que se hizo una evaluación visual de crecimiento de hongos.

### **7.3.5 Análisis de la composición nutrimental de la tortilla fortificada.**

Se realizó el análisis de la composición nutrimental de la tortilla con el extracto de hoja de amaranto, determinando el contenido de humedad, ceniza, carbohidratos, grasa, fibra y proteínas de acuerdo con lo establecido en las normas mexicanas.

#### **7.3.5.1 Humedad**

Se llevó a cabo de acuerdo con la norma NMX-F-083-1986, Alimentos – Determinación de humedad en productos alimenticios. Se colocó la muestra en una cápsula, se pesó, se introdujo en la estufa y se dejó secar. Se retiró de la estufa, se dejó enfriar y se pesó. El contenido de humedad se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de humedad} = \left[ \frac{P - P_1}{P_2} \right] * 100$$

*Ecuación 3.*

En donde:

P= Peso del recipiente con la muestra húmeda (g)

P1= Peso del recipiente con la muestra seca (g)

P2= Peso de la muestra (g)

#### **7.3.5.2 Extracto etéreo**

Se determinó bajo la norma NMX-F-615-NORMEX-2018 Alimentos - Determinación de extracto etéreo (Método Soxhlet) en alimentos. Se pesaron 2 g de muestra en el cartucho. Se colocó el cartucho dentro del extractor Soxhlet. Se efectuó la

extracción durante 4 h, después se evaporó el éter del matraz y se dejó secar a 100°C hasta peso constante.

El contenido de grasa se obtuvo con la siguiente expresión:

$$\text{Porcentaje de extracto etéreo} = \left[ \frac{P-p}{M} \right] * 100$$

*Ecuación 4.*

Donde:

P = Masa en gramos del matraz con grasa.

p = Masa en gramos del matraz sin grasa.

M = Masa en gramos de la muestra.

### **7.3.5.3 Fibra cruda**

La determinación se realizó con base en la norma NOM-F-90-S-1978 Determinación de fibra cruda en Alimentos. Se pesaron 2.0 g de muestra que se colocaron en un vaso y se agregaron 100 mL de ácido sulfúrico al 1.25%. La mezcla se hirvió por 30 min. Se agregaron 100 mL de NaOH al 1.25% y se dejó hervir 30 min. Se colocó en un crisol y se dejó secar a 130°C. Se enfrió y pesó. Se calcinó la muestra a 600°C y pesar.

Para el cálculo del porcentaje de fibra cruda se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de Fibra cruda} = \frac{(Ps-Pp)-(Pc-Pcp)}{M} * 100$$

*Ecuación 5.*

En donde:

Ps = Masa en gramos del residuo seco a 130°C.

Pp = Masa en gramos de papel filtro.

Pc = Masa en gramos de la ceniza.

Pcp = Masa en gramos de las cenizas del papel.

M = Masa de la muestra en gramos.

#### 7.3.5.4 Proteínas

Se determinó mediante el apartado 8.5 Determinación de proteínas por micro Kjeldahl de la norma NOM-155-SCFI-2012. Se tomó una muestra de entre 20 – 40 mg y se añadieron 4 mL de ácido sulfúrico. Se colocó en un biodigestor. Se añadieron 40 mL de agua y 10 mL de hidróxido de sodio al 40%. Se conectó a un sistema de destilación hasta que pasó el amoniaco. Se tituló el destilado con ácido clorhídrico 0.02 N.

El nitrógeno presente en la muestra se calculó mediante la fórmula siguiente:

$$\text{Porcentaje de nitrógeno} = \frac{V * N * 0.014 * 100}{m}$$

*Ecuación 6.*

Donde:

V=Volumen de ácido clorhídrico empleado en la titulación en cm<sup>3</sup>.

N=Normalidad del ácido clorhídrico.

M= Masa de la muestra en g.

0.014=Miliequivalente del nitrógeno.

El % de proteínas se obtendrá multiplicando el % de nitrógeno obtenido por el factor correspondiente.

#### 7.3.5.5 Azúcares.

La determinación se realizó de acuerdo con la norma NMX-F-496-SCFI-2011 Industria azucarera y alcoholera – Determinación de reductores totales en azúcares y materiales azucarados. Se colocó la muestra en un matraz y se añadieron 100 mL de agua. Se agregaron 2.5 mL de acetato de plomo y se transfirió a una bureta. Se colocaron 5 mL de solución Fehling A, 5 mL de Fehling B y 200 mL de agua en otro matraz. Se calentaron con agitador magnético. Se tituló con la primera solución preparada.

El porcentaje de azúcares se calculó con la siguiente ecuación:

$$\text{Porcentaje de azúcares reductores} = \frac{F * V}{M * g} * 100$$

*Ecuación 7.*

Dónde:

F=0.05

V=Volumen de aforo

m= masa muestra

g= volumen gastado

#### **7.3.5.6 Cenizas**

Se introdujo el crisol en una mufla para la calcinación completa. Se enfrió y determinó la masa del crisol con las cenizas. El análisis se realizó de acuerdo con la norma NMX-F-066-S-1978 Determinación de cenizas en alimentos y el resultado se expresa en porcentaje determinado por la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de cenizas} = \frac{(P-p)*100}{M}$$

*Ecuación 8.*

En donde:

P = Masa del crisol con las cenizas en gramos.

p = Masa de crisol vacío en gramos

M = Masa de la muestra en gramos

### **7.4 Fase 3. Trabajo de Gabinete.**

#### **7.4.1 Divulgación de la metodología desarrollada.**

Una vez realizados los análisis de laboratorio y determinadas las condiciones adecuadas para la preparación de tortillas adicionadas con extracto de hojas de amaranto, se procedió con la divulgación de la metodología desarrollada por distintos medios dirigidos a productores de amaranto, tal como un conversatorio directo con ellos, la generación de un video descriptivo de la metodología desarrollada.

#### **7.5 Análisis estadísticos.**

Aquellos datos cuantitativos obtenidos en las entrevistas semiestructuradas se analizaron mediante estadística descriptiva con el uso del software Excel Office 365.

El análisis de los datos obtenidos en el laboratorio se realizó a través de un diseño aleatorio, dado que se obtuvieron muestras de hojas a los 50, 100 y 150 días de crecimiento, realizando extractos con agua y etanol como disolventes y por cuadruplicado, así como las pruebas en la tortilla fortificada, los resultados se expresaron en medias y desviaciones estándar. Con estos datos se hizo el análisis de varianza

(ANOVA) y prueba de medias (Tukey), con un nivel de confianza del 95% en el software Minitab 20 Statistical.

## **VIII. RESULTADOS.**

### **8.1 Fase 1. Recopilación de información y muestras.**

#### **8.1.1 Descripción del sistema de cultivo de amaranto.**

El sistema de cultivo de amaranto se conoció mediante una búsqueda de la literatura en diversas plataformas digitales, incluyendo los sitios oficiales como INAFED, INEGI, Secretaría de Bienestar, CONAPO, entre otros. De esta búsqueda se generó el siguiente diagrama (Figura 8) del sistema que se denominó “Cultivo de Amaranto”, en el que se observa tanto a los componentes que conforman del sistema, así como el suprasistema y el ambiente en los que este se encuentra inmerso.

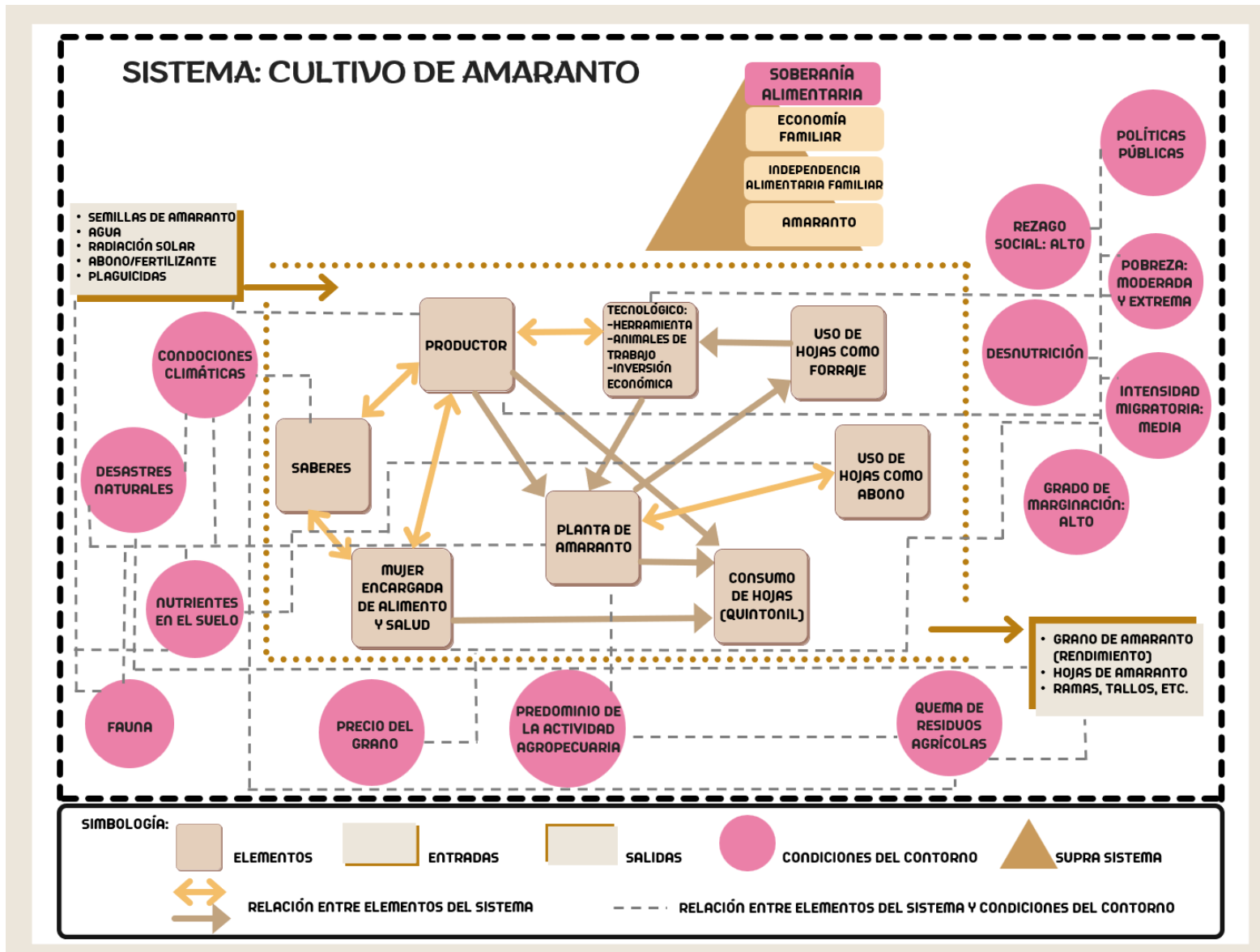


Figura 8. Sistema: Cultivo de amaranto (Elaboración propia)

El componente principal que forma parte del sistema es el productor, quién es el actor social que hace uso de los saberes campesinos para el manejo del cultivo de amaranto; el cual, para el caso de algunos productores de Tochimilco es de manera tradicional, que incluyen prácticas de rotación y asociación de cultivos, técnicas de conservación de suelos, uso de semillas criollas y de mano familiar, entre otras actividades que se realizan debido al conocimiento que se tiene sobre las especies que cultivan y su experiencia con estas, es decir, saberes culturalmente compartidos (Sánchez – Olarte *et al.*, 2016). En este sentido, Silva *et al.* (2019) hallaron saberes en el cultivo del amaranto: salvaguardos, tales como la selección de variedad de semilla de acuerdo al vislumbramiento de condiciones climáticas y el deshije manual; hibridados, como la aplicación de abonos provenientes de vacas, caballos, gallinas, etc.; sustituidos, al incorporar al terreno forraje como abono y el deshijar la planta a las 3 semanas, en lugar de 2; y emergentes, en el caso del uso de nuevas herramientas, que ellos han adaptado para facilitar sus labores. Otro componente es el tecnológico, en el que se consideran las herramientas, los animales de trabajo, así como la inversión económica (Sánchez – Olarte *et al.*, 2016)., aspectos requeridos para realizar las actividades del cultivo de la planta de amaranto, la cual se considera también como componente de nuestro sistema. Otros componentes en la región productora de amaranto son los usos que se da a las hojas de amaranto; el consumo en etapas tempranas, desde los 20 hasta los 40 días de crecimiento de la planta, cuando se le conoce como “quintonil” (Mapes *et al.*, 2012); su uso como forraje para animales (Cervantes, 1986) y el uso como abono para el suelo. Así mismo, se colocó a la mujer como un componente importante de este sistema ya que, además de fungir como productora, es la encargada de la alimentación y salud de los integrantes de la familia en los sistemas rurales, de acuerdo con Perez *et al.* (2007).

Las entradas al sistema son las semillas del amaranto, agua, radiación solar, abonos o fertilizantes y plaguicidas, insumos utilizados para el crecimiento de la planta de amaranto; las salidas son el grano de amaranto, el cual se mide a través del rendimiento ya que es el producto del cual se obtiene el recurso económico para las familias productoras y que es posible a través del manejo tradicional, ya que aunque se obtiene un ingreso menor que en el tecnificado, este no es significativo (Sánchez – Olarte

*et al.*, 2016). Otras salidas del sistema son las hojas, ramas, tallos, entre otros subproductos del cultivo que pasan a formar parte de los residuos agrícolas (Manterola *et al.*, 1999).

Las condiciones del contorno en el ámbito ambiental, están conformadas por las condiciones climáticas, influenciadas por un clima templado subhúmedo con lluvias en verano, una temperatura en un rango de 2 – 20 °C, con una precipitación que va de 800 a 1300 mm; la presencia de vegetación correspondiente a bosque de encino y selva baja caducifolia (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2022); suelos tipo regosol y phaeozem, principalmente (INEGI, 2009) además de fauna como zorros, mapaches, tejón, tlacuache, ardillas entre otras especies (INAFED, 2020), inculidas las que afectan al cultivo de amaranto, de igual forma, se tiene la problemática generada por la quema de residuos agrícolas, la emisión de gases a la atmósfera; por condiciones económicas en las que un aspecto beneficioso para el cultivo es que en el municipio existe un predominio de la actividad agropecuaria en un 44% del territorio, dentro del que se localiza San Francisco Huilango (Prontuario, 2009) además del precio del grano, que puede determinar que se realice el cultivo de amaranto o no. En el ámbito social, el municipio presenta un grado de rezago social alto, en tanto que el 56.7% de la población se encuentra en situación de pobreza moderada y el 27.64% en situación de pobreza extrema (Secretaría de Bienestar, 2021), existe desnutrición en los infantes, observándose un bajo peso y talla (Gutierrez *et al.* 2012) así mismo, el grado absoluto de intensidad migratoria del municipio de Tochimilco se clasificaba como medio en 2010 (Consejo Nacional de Población [CONAPO], 2010), Tochimilco presenta migración hacia estados del norte del país y Estados Unidos en busca de empleo para obtener un mejor ingreso económico debido a que no ganan lo suficiente en el campo, no cuentan con trabajo o no ven futuro en la agricultura, entre otros motivos (Ximitl, 2017). Cabe señalar que, debido a que es más fácil emplear a los hombres migrantes, las mujeres pasan a ser la “cabeza” de la familia y existe una feminización del campo (Ximitl, 2017). Con respecto al grado de marginación el municipio de Tochimilco se clasificó como alto en 2020, en tanto que la localidad de San Francisco Huilango era medio (CONAPO, 2022).

El supra sistema está compuesto por el amaranto, que coadyuva a la independencia alimentaria familiar y por tanto a su economía, además de que contribuye a la soberanía alimentaria de acuerdo a los 6 pilares que se consideran en The Six Pillars of Food Sovereignty (Nyéléni Declaration, 2007): 1) Se centra en alimentos para los pueblos; 2) Pone en valor a los proveedores de alimentos, 3) Localiza los sistemas alimentarios 4) Sitúa el control a nivel local; 5) Promueve el conocimiento y las habilidades y 6) Es compatible con la naturaleza, como es el caso del manejo tradicional al procurar optimizar los recursos disponibles en el área.

El sistema descrito se considera como complejo dadas las interrelaciones existentes entre sus componentes, cuya propiedad emergente es la producción de alimentos que contribuyan a mejorar la salud de los productores y sus familias, procurando su calidad de vida y a alcanzar la soberanía alimentaria.

### **8.1.2 Aplicación de Entrevistas.**

Se localizaron a 6 productores con experiencia en el cultivo de amaranto, contactándolos vía telefónica. Se solicitó su apoyo para brindar información sobre la producción de amaranto, así como de los residuos que obtienen por ésta. Una vez que aceptaron proporcionar información se procedió a realizar las entrevistas aplicando el formato<sup>1</sup> de entrevista semiestructurada diseñado con anterioridad. Las entrevistas también fueron vía telefónica y duraron entre 15 minutos y 1 hora, de acuerdo con las respuestas que proporcionaban los entrevistados, ya que algunas eran cortas y otras más amplias. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 3 y a continuación se hace una descripción de ellos.

---

<sup>1</sup> Anexo 1. Formato de entrevista semiestructurada.

Tabla 3. Resultados de entrevistas a productores de amaranto.

Entrevistado	Genero	Edad (años)	Tiempo produciendo amaranto (años)	Terreno propio/rentado /prestado	Superficie del terreno (ha)	Mes de siembra	Duración del ciclo (meses)	Insumo potenciar crecimiento	Factores que afectan el crecimiento	Corte de hoja en crecimiento o (tiempo)	Uso de hojas	Residuos generados	Uso de residuos	Rendimiento (Kg/ha)
1	M	43	7	Propio	4.5	Marzo	6 a 7	Abono orgánico y fertilizante químico	Plagas, falta de agua y heladas	Si	Alimento	Panojas, hojas, tallos, varas	Abono para el suelo	1,000
2	F	59	11	Rentado	1	Marzo	3 a 3.5	Abono orgánico	Plagas	Si	Alimento	Panojas, hojas, ramas	Abono para el suelo o como sustrato	1,200
3	F	63	4	Prestado	0.25	Marzo	4	Abono orgánico y fertilizante químico	Plagas y falta de agua	Si	Alimento para animales	Hojas, ramas, varas	Abono para el suelo	1,120
4	M	27	5	Propio	1	Julio	3.5 a 4	Abono orgánico y fertilizante químico	Plagas, falta de lluvias y cantidad de hojas	Si	Abono	Panojas, hojas, tallos, varas	Abono para el suelo	720
5	M	62	5	Propio	2	Junio	4	Abono orgánico y fertilizante químico	Plagas	No	Abono	Varas, panojas, rastrojo	Se queman y abono para el suelo	1,600
6	M	84	64	Propio	1.5	Junio	5 a 5.5	Abono orgánico y fertilizante químico	Falta de lluvia	Si	Alimento	Panojas, hojas, tallos, varas	Abono para el suelo	1,600

M = Masculino, F = Femenino

La mayor parte de los productores entrevistados fueron hombres. El rango de edad de los entrevistados está entre 27 y 84 años, en tanto que el promedio de años de experiencia en el cultivo de amaranto es de 16. La mayoría de los productores cuenta con la propiedad del terreno en la que llevan a cabo el cultivo, siendo este de 1.7 ha, en promedio, por lo que son considerados minifundios, de acuerdo con Artís (1997), ya que son menores a 5 ha, correspondiendo a cada uno la superficie mostrada en la Figura 9:

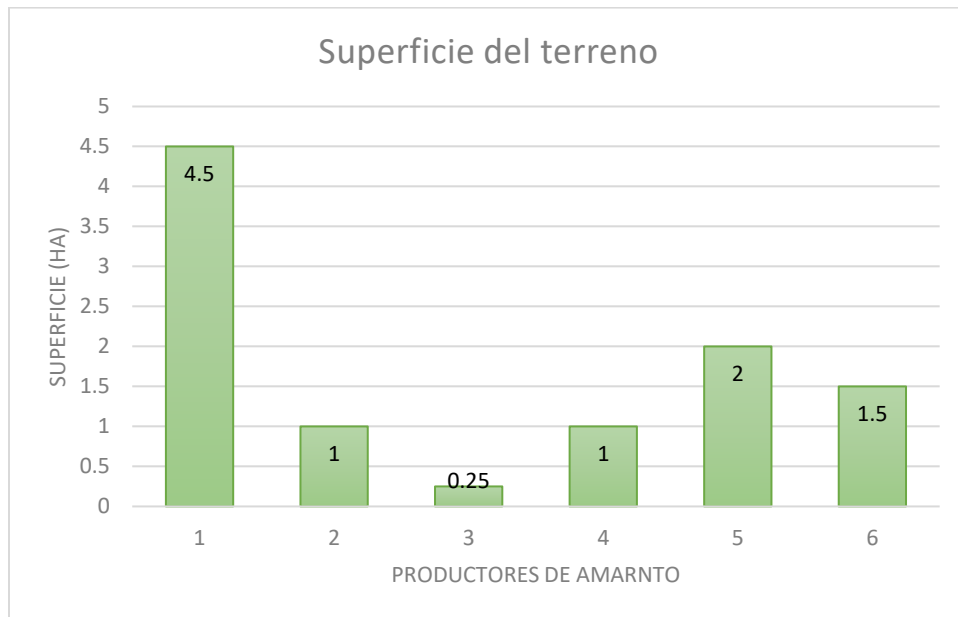


Figura 9. Superficie del terreno.

Los productores llevan a cabo la siembra en diferentes meses: en marzo, junio y julio, todos en el verano, y de acuerdo con su experiencia, la duración del ciclo es variado, desde 3 hasta 7 meses, Silva *et al.* (2019) señalan que para 3 variedades de *Amaranthus hypochondriacus*, pinta, morada y blanca, se tienen tiempos de 3.5, 4.5 y 5.5 meses, respectivamente, por lo que es probable que se deba a esto la diferencia en los tiempos del ciclo. Se tiene en promedio un lapso en el ciclo de 4.5 meses, lo cual se aproxima a las encuestas aplicadas por Ayala *et al.* (2014) en Morelos, Puebla y Tlaxcala, dónde encontraron que los encuestados siembran durante junio y cosechan en octubre, es decir, el ciclo dura aproximadamente 4 meses.

En lo referente a si se utiliza algún insumo para potenciar el crecimiento de la planta, algunos productores comentan que, aunque se procura la utilización de abonos

orgánicos, siguen aplicando fertilizantes químicos debido a que tienen un menor costo económico. Los entrevistados señalaron diversos factores que afectan el crecimiento de la planta (Figura 10) siendo el de mayor aparición las plagas tales como chapulín, gusano alfilerillo, pulgón y gallina ciega.

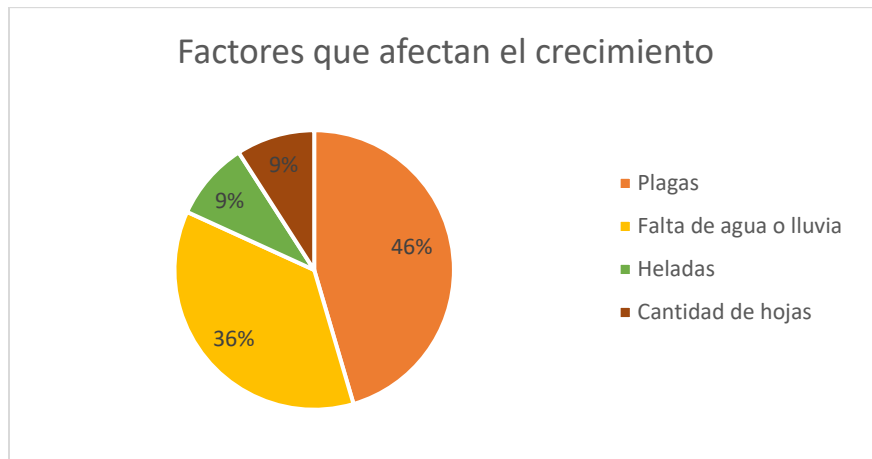


Figura 10. Factores que afectan el crecimiento.

Tales especies fueron identificadas por Pérez *et al.* (2011) en su estudio entomofaunístico del cultivo de amaranto: el chapulín *Sphenarium* sp. (Acrididae), insecto del follaje, tallo y panoja; el gusano alfilerillo *Agriotes* sp.; el pulgón *Macrosiphum* sp. (Aphidae) que se encuentra en las hojas, tallos, brotes y panoja, observándose una coloración amarillenta en la planta y la gallina ciega *Phyllophaga ilhuicaminai* Morón (Melolonthidae) que daña a las raíces, lo que provoca flacidez en la planta.

Con respecto a los residuos, se genera materia seca conformada por panojas, hojas, ramas, varas y tallos, los cuales, en su mayoría, son utilizados como abono para el suelo y en el caso de un entrevistado los quema para facilitar este uso, además de que un productor los utiliza como sustrato para cultivar hongos. De acuerdo con Espitia (1986) para los estados de Puebla y Tlaxcala se estima una densidad de población de 80,000 a 140,000 plantas por ha, obteniendo rendimientos de 1.5 a 2 t/ha; así mismo, Espitia *et al.* (2010) señalan que cada planta puede tener entre 40 y 50 hojas y que la inflorescencia mide de 0.6 a 1.2 m, cada una con 5 o 6 ramas; Alfaro *et al.* (1987) determinaron un área foliar promedio de 99.88 cm<sup>2</sup> a los 60 días de crecimiento de la planta. Arellano y Galicia (2007) obtuvieron las siguientes características en cultivares de amaranto: 120.1 cm de

altura de planta y 3.06 cm de circunferencia de tallo; por lo que la cantidad de residuos se estima en un volumen de 775.522 cm<sup>3</sup> por planta y dado que Alfaro *et al.* (1987) señalan un peso neto de .0688 Kg por planta, teniendo una densidad de 88.71 Kg/m<sup>3</sup>, se obtienen los resultados de la Tabla 4:

Tabla 4. Estimación de residuos producidos en el cultivo de amaranto.

Entrevistado	Superficie del terreno (ha)	Plantas por terreno	Residuos (m <sup>3</sup> )	Residuos (t)
1	4.5	495,000	383.883	34.05
2	1.0	110,000	85.307	7.56
3	0.25	27,500	21.327	1.89
4	1.0	110,000	85.307	7.56
5	2.0	220,000	170.615	15.13
6	1.5	165,000	127.961	11.35

De acuerdo con lo establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011, Que establece los criterios para clasificar los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo; que señala una clasificación como residuo de manejo especial aquel que se produzca en una cantidad igual o mayor a 10 t al año se puede identificar, con base en la cantidad de residuos estimados, que la mitad de los entrevistados se encuentra en esta categoría, ya que los residuos orgánicos de las actividades intensivas agrícolas, avícolas, silvícolas y forestales están listados en dicha norma y por tanto requieren llevar a cabo un plan de manejo de los mismos.

Durante la entrevista, un punto relevante fue si los productores cortan las hojas de la planta de amaranto y el uso que les dan, la mayor parte de ellos dijo que sí las corta, 5 entrevistados, 3 de ellos la utilizan como alimento para sus familias, solo cuando son jóvenes, desde los 20 hasta los 45 días de crecimiento aproximadamente, un productor las usa para alimentar animales, otro las corta como labor del cultivo para un crecimiento adecuado de la planta y el otro no las usa y por tanto no las corta (Figura 11).

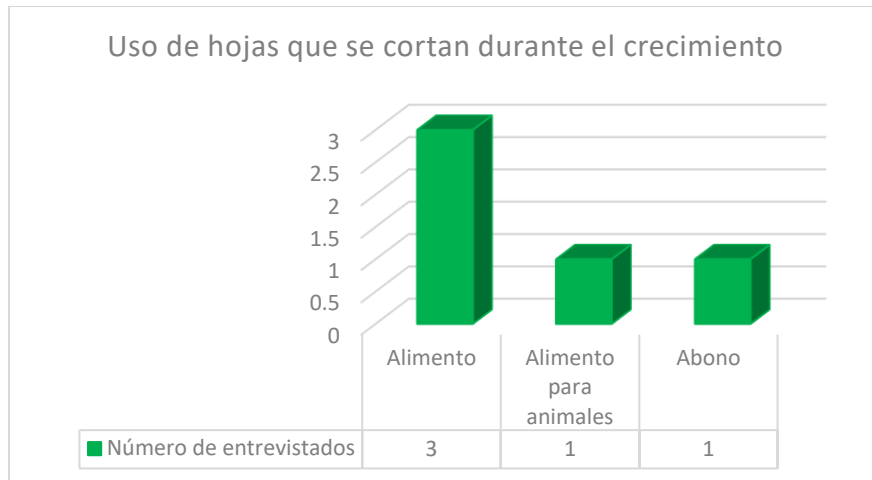


Figura 11. Uso de hojas que se cortan durante el crecimiento.

De acuerdo con los datos proporcionados por los entrevistados, el rendimiento del cultivo de amaranto varía dentro de un rango de 720 a 1,600 ton/ha de grano de amaranto, cuyo promedio es de 1.2 ton/ha, el cual es menor al promedio de rendimiento que se obtuvo a nivel nacional para el año 2020, que fue de 1.6 ton/ha, con base en los datos del SIAP (SIAP, 2020) y particularmente para Puebla, el promedio registrado por Ayala *et al.* (2014) fue de 1.5 ton/ha, en tanto que el de los productores entrevistados el promedio también es menor, de 1.26 ton/ha.

Con base en estos datos se puede concluir que la mayor parte de productores no hacen uso de las hojas que se producen durante el cultivo después de los 45 días de crecimiento, únicamente las dejan como abono para sus terrenos con el resto de los subproductos generados y en el caso de un entrevistado, las quema, lo que se traduce en emisiones de gases de efecto invernadero hacia la atmósfera.

### 8.1.3 Composición nutrimental de la hoja de amaranto

Se llevó a cabo la búsqueda de información bibliográfica sobre la composición nutrimental de la hoja de amaranto determinada por distintos autores obteniendo los datos de la Tabla 5:

Tabla 5. Comparativa del contenido nutrimental de la hoja de amaranto.

<b>Amaranthus Hypochondriacus</b>					
<b>Parámetro (%)</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Humedad</b>	86.77	78.15	78.15	89.4	---
<b>Extracto etéreo</b>	0.309	0.209	0.18	4.4	5.3
<b>Fibra bruta</b>	8.73	2.65	2.31	14.3	8.1
<b>Proteína bruta</b>	5.41	6.0	6.9	22.7	20.6
<b>Hidratos de carbono</b>	4.69	8.12	7.9	44.3	39.7
<b>Cenizas</b>	4.28	4.92	4.9	20.4	26.3

1. Sarker y Oba, 2020; 2. Mapes et al., 2014; 3. Mapes et al., 2014; 4. Alfaro et al., 1987; 5. Cheeke et al., 1981

Se observa el valor más alto para la fibra en lo determinado por Alfaro *et al.* (1987) 14.3 %, en tanto que Mapes *et al.* (2014) registraron el valor más bajo, de 2.31%. Con respecto a la proteína en la determinación realizada por Alfaro *et al.* (1987) que es de 22.7% y el más bajo, de 6.0%, registrado por Mapes *et al.*, (2014); en el caso de cenizas, el valor más alto fue obtenido por Cheeke *et al.* (1981) de 26.3% y el más bajo fue el determinado por Sarker y Oba (2020) de 4.28%.

Por otra parte, de acuerdo con Mapes y Basurto (2012) el contenido de proteína, fibra y ceniza es mayor en la hoja de amaranto que en la espinaca: proteína =3.2%, fibra=0.6 %, ceniza =1.5; y que la acelga: proteína =2.4%, fibra=0.8 %, ceniza =1.6; vegetales pertenecientes también a la familia *amaranthaceae*, lo cual se puede corroborar con los datos obtenidos. Por su parte Alayo y Montoya (2013) registran valores nutritivos para la espinaca de 3,82% en proteínas, 1.23% en fibra y 1.75% en ceniza, valores menores a lo indicado en la tabla comparativa para el caso de la hoja de amaranto.

#### 8.1.4 Muestreo de hojas

El muestreo de hojas se realizó en la localidad de San Francisco Huilango, perteneciente al municipio de Tochimilco, a los 50, 100 y 150 días del crecimiento de la planta, por lo que la primera muestra fue tomada el mes de agosto de 2020, la segunda fue en octubre de 2020 y la última en noviembre de 2020. Las hojas seleccionadas fueron

con base en los requisitos solicitados, sin plagas o enfermedades y aquellas que no estuvieran podridas o secas. Las hojas se cortaron y colocaron en una bolsa sin cerrar, para evitar la humedad en el interior.

#### **8.1.5 Acondicionamiento de muestras (1).**

Una vez hecha la entrega de hojas por parte del productor, estas se lavaron bajo el chorro de agua para eliminar algún residuo de tierra (Figura 12).



*Figura 12. Hojas limpias.*

Posteriormente las hojas se extendieron sobre un lugar plano y se dejaron secar por un periodo de 6 h a una temperatura aproximada de 18 ° C, evitando la radiación solar (Figura 13).



Figura 13. Hojas secas.

Tal como se observa en la figura 2, las hojas perdieron la intensidad del color verde que tenían previo al secado, además de que se encogieron, lo cual ocurre debido a la pérdida de agua durante este proceso (Zapata, 2018).

El secado de las hojas de amaranto será importante si se desea utilizarlas tiempo después de su cosecha, ya que, de acuerdo con Geankoplis (1998) los microorganismos que generar descomposición en alimentos no pueden crecer en ausencia de agua, por lo tanto, las hojas podrán ser útiles por un periodo más amplio.

Una vez secas, las hojas se midieron y las medidas se señalan en la tabla 6:

Tabla 6. Medidas de hojas de amaranto secas.

Largo (mm)	Ancho (mm)	Grosor (mm)	Peso (g)
75	35	0.2	.22
80	45	0.2	.24
95	50	0.2	.25

Sumar (1993) describe a las hojas de amaranto con una longitud de 6.5 cm a 14 cm, por lo que, las obtenidas en el presente estudio se encuentran dentro de este rango,

pero son más pequeñas que las identificadas por Iturbide y Gómez (1986) quienes señalan que las hojas miden 15 cm de largo y 10 cm de ancho.

La reducción de tamaño (Figura 14) se realizó en un molino para grano marca Hamilton Beach y se midió su peso en una báscula digital obteniendo 50 g de la muestra de 50 días (muestra 1), 140.30 g de la de 100 días (muestra 2) y 53.23 g de la muestra de 150 días de crecimiento de la planta (muestra 3).



*Figura 14. Hojas molidas.*

Del material obtenido se tomaron 50 g de la muestra 1, 100 g de la muestra 2 y 100 g de muestra 3. Este material fue cernido en tamices de 1.5 mm y 0.9 mm (Figura 15), obteniendo los resultados de la tabla 7:

*Tabla 7. Material tamizado obtenido.*

<b>Muestra (Días de crecimiento)</b>	<b>Tamiz 1.5 mm (g)</b>	<b>Tamiz .9 mm (g)</b>	<b>Residuo (g)</b>	<b>Total (g)</b>
<b>50</b>	1.08	39.62	0.34	41.04
<b>100</b>	3.51	79.67	0.91	84.09
<b>150</b>	6.65	87.74	0.93	95.32



Figura 15. Hojas tamizadas.

Se considera que las pérdidas de material se debieron a la dispersión de este en el aire y a su adhesión en los contenedores utilizados durante el manejo.

Con respecto al tamizado, Pérez – Nájera *et al.* (2013) analizaron la cáscara de lima encontrando que entre más pequeña sea el tamaño de partícula, se tienen mejores resultados en la medición de fenoles, esto debido a que existe un mejor rendimiento del extracto por el área mayor de transferencia en el solvente.

Después de haber hecho la clasificación de tamaño, el material se colocó en bolsas cerradas para su almacenamiento en un lugar seco y limpio esto para evitar el crecimiento de hongos y levaduras o ataque de insectos y roedores (Zapata, 2018). Cabe mencionar que este almacenamiento debe ser tomado en cuenta por parte de los productores durante el manejo de las hojas de amaranto.

## **8.2 Fase 2. Laboratorio.**

### **8.2.1 Acondicionamiento de muestras (2)**

Se elaboraron extractos con las hojas de amaranto de 50, 100 y 150 días de crecimiento, con tamaño de partícula menor a 0.9mm. La mezcla de hoja con el disolvente se colocó en frascos cubiertos con papel aluminio para evitar el contacto con la luz solar (Figura 16), que se agitaron por 24 horas en un agitador orbital (LEEX, KJ-201BD) (Figura 17) y se dejaron macerar a una temperatura aproximada de 18 ° C. Se procedió a su filtrado y refrigerado para su almacenamiento en condiciones de oscuridad.



Figura 16. Frascos con muestras preparadas.



Figura 17. Muestras en agitación.

## 8.2.2 Determinación de capacidad antioxidante y polifenoles totales.

### 8.2.2.1 Capacidad antioxidante.

Para la determinación de la capacidad antioxidante de los extractos se utilizó el método del reactivo DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidrazilo), descrito por Brand-Williams *et al.* (1995). Se preparó el reactivo DPPH a una concentración de 0.1 mM en metanol. Se colocaron 100  $\mu$ L del extracto y 900  $\mu$ L del reactivo DPPH [0.1 mM], se agitó la mezcla y se dejó reposar por un periodo de 30 minutos en la oscuridad. Posteriormente se midió la absorbancia de la muestra ( $A_r$ ) en un espectrofotómetro UV-VIS (Jenway, 7305) a una longitud de onda de 517 nm (Figura 18). La medición también se realizó antes de añadir la muestra ( $A_0$ ) para después determinar el % de inhibición de la muestra. El ensayo se realizó por cuadruplicado. Se obtuvo la concentración de las muestras por regresión lineal, mediante una curva de calibración de Trolox, antioxidante de referencia. Los resultados obtenidos de porcentaje de inhibición se muestran en la tabla 8 y los de capacidad antioxidante en la tabla 9.

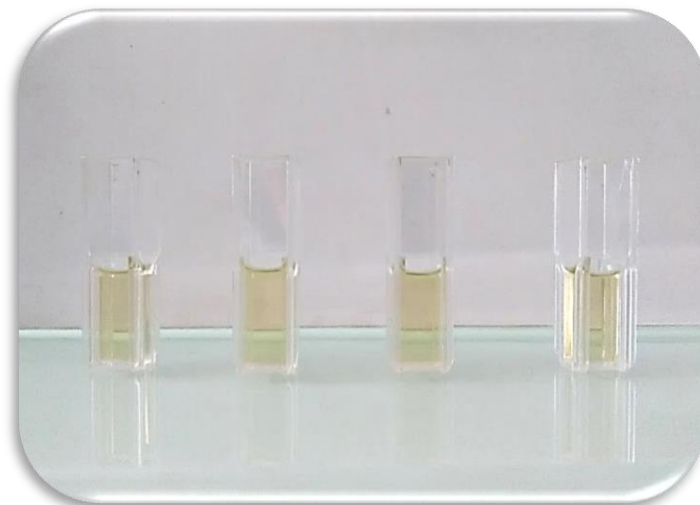


Figura 18. Muestra con reactivo DPPH.

Tabla 8. Porcentajes de inhibición

Días de crecimiento de la Hoja de Amaranto	Días de macerado	% de Inhibición	
		Etanol	Agua
50	7	82.348±0.69	40.202±0.59
	10	85.370±0.46	46.639±1.37
	14	83.027±0.69	S.D.
100	7	78.069±0.69	10.518±1.06
	10	77.833±0.58	S.D.
	14	78.431±0.60	S.D.
150	7	62.921±0.86	59.121±1.16
	10	63.904±4.24	63.098±1.83
	14	65.113±1.75	61.541±0.84

Los valores indican la media ± la desviación estándar.

S.D. Sin datos.

El % de inhibición de radicales libres se encuentra dentro de un rango de 62.920 ± 0.86 % a 85.370±0.46% para el etanol y de 10.518 ± 1.06 % a 63.098 ± 1.83% para el agua, cabe señalar que, en este último disolvente, no hubo inhibición en algunos

macerados, tal como se observa en la tabla 8. En cuanto a los días de crecimiento, se observó un mayor % de inhibición en la hoja con 50 días de crecimiento con etanol como disolvente ( $85.370 \pm 0.46\%$ ) y en la de 150 días de crecimiento con agua como disolvente ( $63.098 \pm 1.83\%$ ).

Tabla 9. Capacidad antioxidante en hojas de amaranto

Días de crecimiento de la Hoja de Amaranto	Días de macerado	Capacidad antioxidante ( $\mu\text{M ET/mL}$ )	
		Etanol	Agua
50	7	$369.997 \pm 3.02^A$	$186.914 \pm 2.59^G$
	10	$383.125 \pm 2.00^A$	$214.873 \pm 5.97^F$
	14	$372.943 \pm 3.00^{AB}$	S.D.
100	7	$351.406 \pm 3.03^C$	$57.964 \pm 4.62^H$
	10	$350.385 \pm 2.51^C$	S.D.
	14	$352.980 \pm 2.61^{BC}$	S.D.
150	7	$285.606 \pm 3.76^{DE}$	$269.095 \pm 5.04^E$
	10	$289.873 \pm 18.42^D$	$286.371 \pm 7.95^D$
	14	$295.126 \pm 7.61^D$	$279.611 \pm 3.68^{DE}$

Los valores indican la media  $\pm$  la desviación estándar seguidas por la misma letra no son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ )

S.D. Sin datos.

Las concentraciones obtenidas de capacidad antioxidantes oscilaron en un rango de  $285.606 \pm 3.76$  a  $383.125 \pm 2.00 \mu\text{M ET/mL}$  para etanol y entre  $57.964 \pm 4.62$  a  $286.371 \pm 7.95 \mu\text{M ET/mL}$  para agua como disolvente, observándose la concentración más alta en etanol en la hoja con 50 días de crecimiento y 10 días de macerado.

Sarker y Oba (2020), estudiaron la hoja de *Amaranthus hypochondriacus* con aproximadamente 150 días de crecimiento determinaron una concentración de  $16.27 - 33.46 \text{ TEAC } \mu\text{g/g DW}$ , valores menores a los obtenidos en este estudio. Por su parte, Li *et al.* (2014) señalan una capacidad antioxidante  $451.37 \pm 10.16 \mu\text{mol TE /g DW}$  en las hojas de *A. hypochondriacus* valores dentro del rango que se obtuvieron en el presente estudio. Así mismo, López – Mejía *et al.* (2014a) estudiaron subproductos de semillas de

*Amaranthus hypochondriacus* determinaron capacidades antioxidantes en etanol en un rango comprendido entre  $0.95 \pm 0.07$  y  $1.28 \pm 0.15$  mg ET/g muestra seca, valores menores a los obtenidos en este proyecto.

Se llevó a cabo el análisis de varianza (ANOVA)<sup>2</sup> al 95% de confianza en el software Minitab, de las capacidades antioxidantes obtenidas respecto de los 3 factores que intervinieron. Existe diferencia significativa en al menos una de las medias ( $F=172.03$ ,  $gl=4$ ,  $p\text{-valor} (0.000) < 0.05$ ), por tanto, existe efecto en la capacidad antioxidante por la interacción de los factores. Se realizó la prueba de Tukey con todos los tratamientos y existió diferencia significativa entre 10 grupos, concluyendo que el valor más alto en la capacidad antioxidante se obtiene en la hoja de amaranto con 50 días de crecimiento, utilizando etanol como disolvente y 10 días de macerado.

#### **8.2.2.2 Polifenoles totales.**

Se determinó el contenido de compuestos fenólicos totales mediante el método del reactivo Folin-Ciocalteu, descrito por Singleton y Rossi (1965) con algunas modificaciones: se colocaron 50  $\mu\text{L}$  del extracto y 250  $\mu\text{L}$  del reactivo Folin-Ciocalteu al 50%, se agitó la mezcla y se dejó reposar durante 8 minutos, posteriormente se añadieron 1250  $\mu\text{L}$  de carbonato de sodio al 5% y se dejó reposar la mezcla por 30 minutos en la oscuridad. Se realizó la lectura de la absorboncia de cada muestra en un espectrofotómetro UV-VIS (Jenway, 7305) a una longitud de onda de 725 nm (Figura 19). El ensayo se realizó por cuadruplicado. El contenido de compuestos fenólicos totales se obtuvo mediante regresión lineal, haciendo uso de una curva de calibración construida a diferentes concentraciones de ácido gálico (tabla 10).

---

<sup>2</sup> Anexo 2. ANOVA

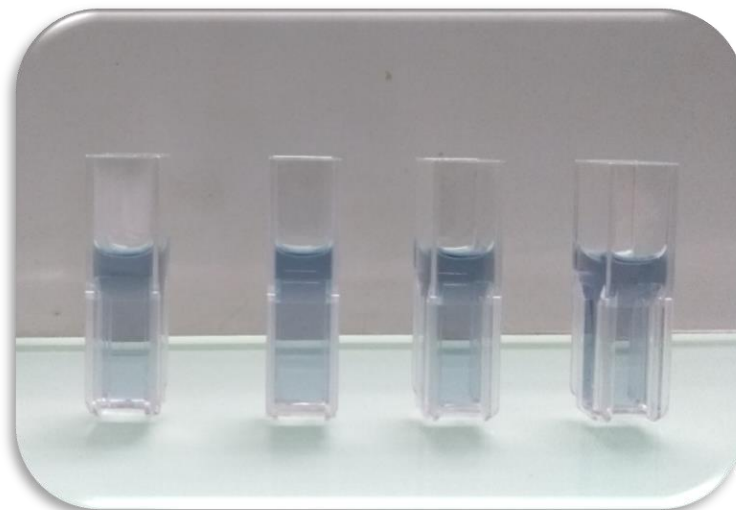


Figura 19. Muestra después del ensayo.

Tabla 10. Concentración de Polifenoles totales en hojas de amaranto.

Días de crecimiento de la Hoja de Amaranto	Días de macerado	Polifenoles totales (mg de EAG/g MS)	
		Etanol	Agua
50	7	0.569±0.03 <sup>EFG</sup>	2.724±0.29 <sup>AB</sup>
	10	0.716±0.03 <sup>FG</sup>	3.595±0.17 <sup>A</sup>
	14	0.740±0.04 <sup>FG</sup>	2.253±0.07 <sup>BC</sup>
100	7	0.585±0.03 <sup>G</sup>	1.884±0.16 <sup>CD</sup>
	10	0.543±0.00 <sup>G</sup>	1.864±0.19 <sup>CD</sup>
	14	0.502±0.02 <sup>G</sup>	1.368±0.07 <sup>CD</sup>
150	7	0.690±0.05 <sup>FG</sup>	1.826±0.09 <sup>CD</sup>
	10	0.793±0.02 <sup>FG</sup>	1.690±0.17 <sup>CD</sup>
	14	0.808±0.04 <sup>FG</sup>	1.889±0.10 <sup>CD</sup>

Los valores indican la media ± la desviación estándar seguidas por la misma letra no son significativamente diferentes (p<0.05)

El contenido de compuestos fenólicos totales comprende un rango de 0.5021 ± 0.0248 a 0.8089 ± 0.0447 mg de EAG/g MS para etanol como disolvente y de 1.3684 ± 0.797 a 3.5953 ± 0.1739 mg de EAG/g MS en agua, por lo que se observa que mediante el agua se obtiene un resultado más alto.

Con respecto a los días de crecimiento, los resultados muestran que, para el caso de etanol como disolvente, se obtiene un mayor contenido de compuestos fenólicos totales en las hojas con 150 días de crecimiento, en dónde se obtuvo la mayor concentración ( $0.8089 \pm 0.0447$  mg de EAG/g MS); lo cual fue diferente para el caso del agua, en dónde el mayor contenido se encontró en las hojas con 50 días de crecimiento ( $3.5953 \pm 0.1739$  mg de EAG/g MS). Para ambos casos, en la hoja con 100 días de crecimiento se obtuvo la menor concentración de compuestos fenólicos totales,  $0.5021 \pm 0.0248$  y  $1.3684 \pm 0.797$  mg de EAG/g MS.

Sarker y Oba (2020), estudiaron la hoja de *Amaranthus hypochondriacus* con 30 días de crecimiento determinando un contenido de fenoles totales en un rango comprendido entre 13.23 y 29.34 GAE  $\mu\text{g/g}$  DW, valores menores a los encontrados en el presente estudio. Li *et al.* (2014) determinaron un contenido de fenoles totales de  $14.94 \pm 0.32$  mg GAE/g DW en hojas de *A. hypochondriacus* de aproximadamente 150 días de crecimiento, resultados mayores a los obtenidos en nuestro proyecto. Por su parte, López – Mejía *et al.* (2014a) estudiaron los subproductos de semillas de *Amaranthus hypochondriacus* determinando la concentración de fenoles totales usando etanol como disolvente encontrando concentraciones en un rango de  $0.18 \pm 0.03$  a  $1.75 \pm 0.05$  mg GAE/g MS, valores similares a los obtenidos entre ambos disolventes para nuestro estudio, agua y etanol.

Se llevó a cabo la prueba de ANOVA en el programa Minitab que incluyera la interacción entre los factores. Existe diferencia significativa en al menos una de las medias ( $F= 4.00$ ,  $gl= 4$ ,  $p\text{-valor} (0.006) < 0.05$ ), por lo que hay un efecto en el contenido de fenoles totales debido a la interacción entre los factores. Se procedió a realizar la prueba de Tukey con todos los tratamientos para determinar las diferencias entre grupos y se determinó que existe diferencia significativa entre 7 grupos, concluyendo que el contenido mayor de fenoles totales se obtiene en la hoja de amaranto con 50 días de crecimiento, utilizando agua como solvente y 10 días de macerado.

### **8.2.3 Integración de los antioxidantes a la tortilla.**

Se procedió a elaborar las tortillas de maíz con el extracto seleccionado debido a un mayor contenido de antioxidantes, el de 50 días de crecimiento de hoja, agua como

solvente y 10 días de macerado, esto debido a que el agua es un insumo básico que es más fácil de obtener. La masa fue adquirida en una tortillería localizada en la zona nororiente de la ciudad de Puebla, que trabaja diariamente con tortilla de maíz azul. Se agregó 1 mL de extracto por 100 g de masa y se mezcló hasta obtener un color uniforme. Se procedió a formar la tortilla con una prensa y se colocó sobre un comal al fuego para su cocción, cuyo tiempo fue de 1.20 min. A esta tortilla con extracto de hoja de amaranto le denominamos “tortilla fortificada”.

### 8.2.3 Características de la tortilla fortificada.

Las características físicas de la tortilla fortificada son las mostradas en la tabla 11:

Tabla 11. Caracterización física de la tortilla fortificada.

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>
<b>Diámetro</b>	12.5 cm
<b>Peso de la tortilla</b>	14.5 g
<b>Espesor</b>	1 mm

Se llevó a cabo la medición de rolabilidad de acuerdo con Bedolla (1983), 30 minutos después de elaborada la tortilla. Tanto la tortilla control (Figura 20) como la tortilla fortificada (Figura 21) obtuvieron un valor de 1, es decir que no se rompieron al hacer la forma de “taco”.



Figura 20. Rolabilidad - Tortilla control.



Figura 21. Rolabilidad - Tortilla con extracto

En cuanto al inflado, que se evaluó conforme a lo establecido por Figueroa *et al.* (2001), en ambas tortillas, control (Figura 22) y fortificada (Figura 23), se obtuvo un valor de 2, inflado al 50%.



Figura 22. Inflado - Tortilla control.



Figura 23. Inflado - Tortilla con extracto

Se llevó a cabo la determinación de resistencia y extensibilidad de la tortilla fortificada mediante el método de Suhendro (1999), en el que se utilizó el equipo Texture Analyser TA-XT-plus<sup>3</sup>, haciendo uso del accesorio Tensil grips A/TG, obtenido los datos observados en la tabla 12:

Tabla 12. Datos de textura para tortilla con extracto.

<b>Resistencia a la tensión (g)</b>	<b>Extensibilidad (mm)</b>
192.29 ± 54.2	37.48 ± 2.8
Los valores indican la media ± la desviación estándar.	

De acuerdo con Antuna *et al.*, (2008) la resistencia a la tensión es una medida para evaluar la plasticidad en la tortilla, ya que mientras menos fuerza se requiera es más fácil su masticación. Estos autores, estudiaron tortillas de algunos estados de la Republica

<sup>3</sup> Anexo 3. Resultados de la aplicación del Texture Analyser.

Mexicano encontrando valores de entre 155 hasta 256 g de resistencia a la tensión, rango dentro del que se encuentra el valor obtenido en nuestro estudio. Jiménez - Juárez *et al.* (2012) determinaron valores de entre 208.75 y 295.83 g de resistencia a la extensión en tortillas de maíz, valores mayores a los nuestros.

Por otro lado, Suhendro (1999), señala que la extensibilidad de la tortilla se correlaciona con la roabilidad y flexibilidad, a mayor frescura en la tortilla existe mayor extensibilidad, determinando un valor de  $26.31 \pm 1.62$  mm en tortillas medidas a la media hora de preparación, valor menor al obtenido en nuestro trabajo, determinado en el mismo tiempo.

## 8.2.4 Evaluación de la conservación de antioxidantes y tiempo de vida útil de la tortilla fortificada.

### 8.2.4.1 Evaluación de la conservación de antioxidantes

Las muestras se prepararon de acuerdo con lo establecido por Antolovich *et al.* (2002) y Matsukawa *et al.* (1997).

Se determinó la capacidad antioxidante de la tortilla con extracto de hoja de amaranto y a la tortilla control por el método del reactivo DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidrazilo), descrito por Brand-Williams *et al.* (1995). Se obtuvieron los resultados de la tabla 13:

Tabla 13. Capacidad antioxidante en tortilla

	<i>Tortilla control</i>	<i>Tortilla con extracto</i>
<b>Capacidad antioxidante</b> ( $\mu\text{M ET/mL}$ )	$254.63 \pm 9.1$	$290.57 \pm 4.6$
Los valores indican la media $\pm$ la desviación estándar		

Tal como se observa, se determinó una capacidad más alta en la tortilla fortificada con extracto de hoja de amaranto que en la tortilla control, lo cual también puede observarse en las Figuras 24 y 25, dónde se aprecia un color más fuerte en la muestra de la tortilla control y uno más claro en la de la tortilla con extracto, debido a una mayor inhibición del radical DPPH (tabla 14).



Figura 24. CA - Muestra Tortilla control.

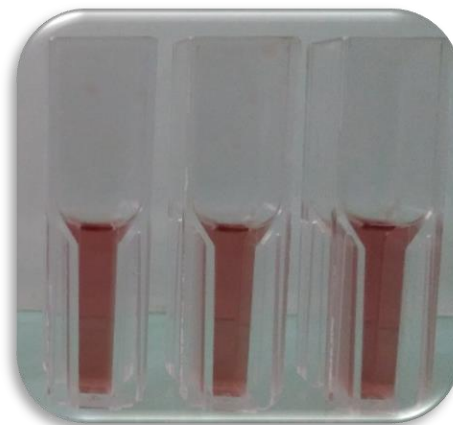


Figura 25. CA - Muestra tortilla con extracto.

Cabe señalar que la tortilla control usada fue de maíz azul, la cual cuenta con más antioxidantes que la tortilla de maíz blanco (Del Pozo - Insfran *et al.*, 2006). Herrera – Sotero *et al.* (2017), determinaron una capacidad antioxidante de  $45 \pm 0.22 \mu\text{M ET/g}$  valor menor al obtenido para ambas tortillas en nuestro estudio. Aguayo-Rojas *et al.*, (2012) encontraron valores de entre  $15.996 - 18.535 \mu\text{M ET/100 g}$  en tortillas azules, valor menor al determinado en nuestras tortillas.

Tabla 14. Porcentaje de inhibición en tortilla.

	<b>Tortilla control</b>	<b>Tortilla con extracto</b>
<b>Porcentaje de inhibición</b>	$55.79 \pm 2.1$	$64.06 \pm 1.0$
Los valores indican la media $\pm$ la desviación estándar		

Salinas *et al.*, 2017 determinaron un porcentaje de inhibición del radical DPPH del 35.09%, el cual es menor que el determinado en nuestro estudio tanto como para la tortilla control como en la tortilla con extracto de hoja de amaranto.

De igual forma se determinó la concentración de fenoles totales en ambas tortillas, a través del método del reactivo Folin-Ciocalteu, descrito por Singleton y Rossi (1965). Los valores obtenidos se observan en la tabla 15, visualizándose un cambio en el color de la mezcla que fue menor en la muestra de la tortilla control (Figura 26) que en la tortilla con extracto (Figura 27):

Tabla 15. Concentración de Polifenoles totales en tortilla.

	<b>Tortilla control</b>	<b>Tortilla con extracto</b>
<b>Polifenoles totales (mg de EAG/g MS)</b>	0.548 ± 0.03	0.642 ± 0.05
Los valores indican la media ± la desviación estándar		



Figura 26. PT - Muestra Tortilla control.



Figura 27. PT - Muestra tortilla con extracto.

Aguayo-Rojas *et al.*, (2012) determinaron un valor de  $128.0 \pm 2.14$  mg de EAG/100g MS en tortilla azul, cantidad mayor a la encontrada en el presente estudio. Herrera – Sotero *et al.* (2017) Encontraron valores de  $70.3 \pm 0.03$  mg de EAG/100g en tortilla azul, valores mayores a los determinados en nuestras tortillas. Hernández – Martínez *et al.* (2016) determinaron una variación de 9.42 a 5.12 mg equivalentes de ácido gálico/ Kg muestra seca de fenoles solubles totales, valores menores a los determinados en nuestro estudio.

#### 8.2.4.2 Evaluación del tiempo de vida útil de la tortilla fortificada.

A través de la actividad de agua se midió la vida útil de la tortilla fortificada. Las muestras se cortaron en trozos pequeños que fueron colocados en una charola e insertado en el medidor marca AQUA LAB (Figura 28). Las mediciones se realizaron en la tortilla control y en la tortilla fortificada en los días 1, 4, 6 y 8 de haberlas preparado.



Figura 28. Medición de actividad de agua.

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 16 y en la Figura 29.

Tabla 16. Actividad de agua en tortilla.

	Actividad de agua ( $a_w$ )			
	Día 1	Día 4	Día 6	Día 8
<b>Tortilla control</b>	0.969	0.960	0.967	0.956
<b>Tortilla con extracto</b>	0.970	0.962	0.970	0.967

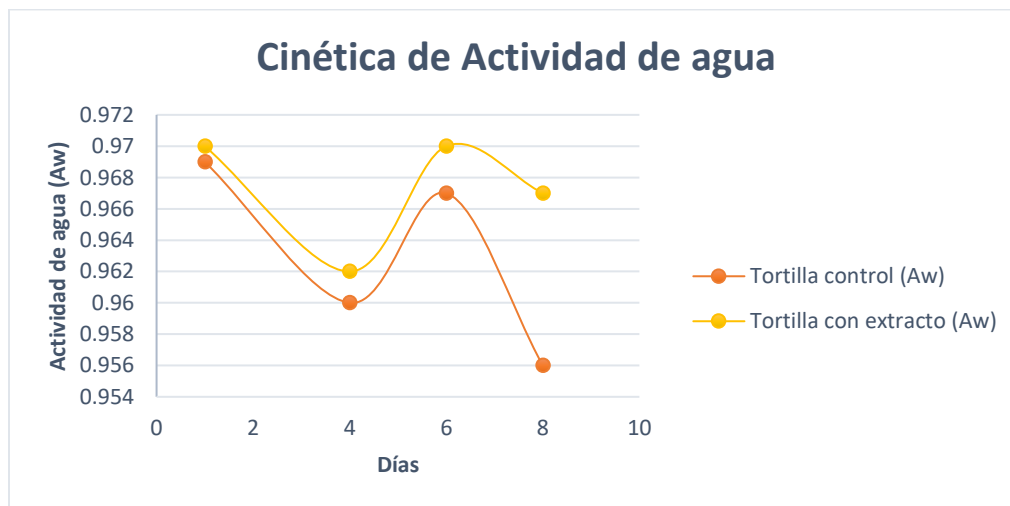


Figura 29. Actividad de agua en tortilla.

De igual manera, durante este periodo se realizó una evaluación visual de crecimiento de hongos en las tortillas. Se tomaron fotografías durante las observaciones, mismas que se observan en la Figura 30, sin percibirse ningún indicio de crecimiento de hongos en la tortilla control ni en la tortilla con extracto de amaranto.

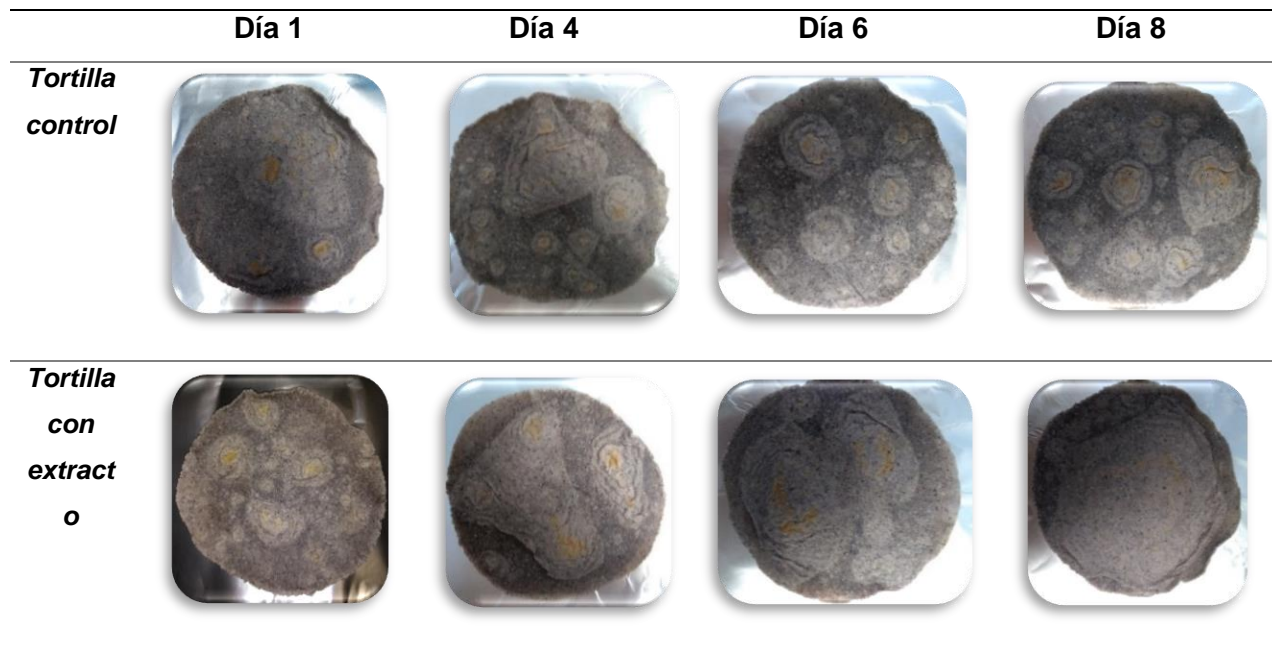


Figura 30. Evaluación visual de hongos en tortilla.

Hallsworth & Magan, (1999) determinaron una actividad de agua de entre 0.97 y 0.99 como la óptima para el desarrollo de algunos microorganismos, tal como se observa en la gráfica 4 la tortilla con extracto alcanzó un valor de 0.97 en el día 7, no obstante, este es el valor inferior del rango óptimo y la actividad disminuyó posteriormente, cabe destacar que, como se señala, no se observó ningún hongo en la tortilla con extracto durante los 8 días de las observaciones.

### 8.2.5 Análisis de la composición nutrimental a la tortilla fortificada.

Para determinar la composición nutrimental de la tortilla fortificada con extracto de amaranto, se llevaron a cabo las determinaciones de humedad, extracto etéreo, fibra, proteínas, azúcares y cenizas, los resultados obtenidos se observan en la tabla 17:

Tabla 17. Composición nutrimental de la tortilla de maíz.

<b>Compuesto</b>	<b>(%)</b>
<b>Humedad</b>	34.99 ± 0.44
<b>Extracto etéreo</b>	4.08 ± 0.12
<b>Fibra</b>	8.62 ± 2.38
<b>Proteínas</b>	8.76 ± 0.25
<b>Carbohidratos</b>	13.11 ± 2.73
<b>Cenizas</b>	1.87 ± 0.13

Los valores indican la media ± la desviación estándar.

Humedad: Colín - Chávez *et al.* (2020) estudiaron a la tortilla de maíz azul y blancas hechas a mano, encontrado un porcentaje de humedad de 48.1 y 47.8, respectivamente, ambos valores más altos que los obtenidos. Iuga *et al.* (2019) determinaron un valor de 46.49 g/100 g de humedad en la tortilla hecha a mano, valor también más alto que el obtenido. Rojas - Molina *et al.* (2020) determinaron un valor de 8.77g/100 g de humedad en tortilla, menor al obtenido en nuestro proyecto. Castañeda-Arriaga *et al.*, (2018) determinaron un 44.7g/100g en tortilla de cacahuete.

Extracto etéreo: Nuestro resultado es parecido al determinado por Rojas - Molina *et al.* (2020) de 4.10 g/100 g y mayores a los que obtuvieron para tortillas de maíz azul y blanca, 1.78 y 1.87 %, respectivamente. De igual forma, Iuga *et al.* (2019) determinaron un valor menor al nuestro, en la tortilla de maíz hecha a mano, 1.13 g/100g. Castañeda-Arriaga *et al.*, (2018) determinaron un valor de 31.2% de lípidos en su tortilla con cacahuete, mucho mayor, debido al ingrediente añadido.

Fibra: Rojas - Molina *et al.* (2020) determinaron 2.6 g/100 g de fibra cruda en tortilla, valor menor a lo determinado en nuestro ensayo. De igual forma Castañeda-Arriaga *et al.*, (2018) tiene un valor de 2.5 g/100g de fibra en la tortilla de cacahuete, también menor.

Proteínas: Colín - Chávez *et al.* (2020) determinaron valores de 9.45% en la tortilla de maíz azul y 9.63% en la tortilla blanca. Iuga *et al.* (2019) determinaron un valor de 9.33 g/100g de proteínas en la tortilla de maíz hecha a mano. Rojas - Molina *et al.* (2020)

determinaron 7.4 g/100 g en tortilla. Nuestro resultado se encuentra dentro del rango de lo determinado por estos autores.

Carbohidratos: Iuga *et al.* (2019) determinaron 41.65 g/100g en la tortilla de maíz hecha a mano, valor mayor a lo encontrado en nuestra tortilla. Castañeda-Arriaga *et al.*, (2018) encontraron un valor de 9% en la tortilla de cacahuete, menor a lo determinado en nuestro proyecto.

Cenizas: Colín - Chávez *et al.* (2020) determinaron valores de 1.85% en la tortilla de maíz azul y 1.80% en la tortilla blanca; Iuga *et al.* (2019) determinaron un valor de 1.55 g/100g en la tortilla de maíz hecha a mano; Rojas - Molina *et al.* (2020) obtuvieron un valor de 2.32 g/100 g en tortilla. El valor determinado en este estudio se encuentra dentro del rango de valores obtenidos por estos autores.

#### **7.4.1 Divulgación de la metodología desarrollada.**

Los resultados de este trabajo se difundieron mediante dos actividades: primero se presentó el proyecto a la Red Latinoamericana del Amaranto, agrupación que tiene entre sus objetivos difundir y fomentar el intercambio de conocimiento sobre el sistema de amaranto; segundo, se divulgó a través de un video en el que se explica la metodología desarrollada, la implementación de los antioxidantes presentes en la hoja de amaranto a la tortilla de maíz, el cual se difundió a través de la agrupación Promotores de Nuestras Raíces, integrada por productores, comerciantes, investigadores y microempresas de amaranto.

### **IX. CONCLUSIONES.**

- El sistema de cultivo de amaranto es complejo, debido a las interrelaciones existentes entre los elementos que lo conforman, cuya propiedad emergente es la producción de alimentos que contribuyen a mejorar la salud y alcanzar la soberanía alimentaria.
- La hoja de amaranto es fuente de nutrimentos tales como proteínas, fibra y cenizas y cuenta con valores más altos que los determinados en la espinaca y la acelga.

- El análisis estadístico de medias comprueba que existe diferencia significativa en los resultados obtenidos para capacidad antioxidante y polifenoles totales, obteniendo las mayores concentraciones en la hoja con 50 días de crecimiento y 10 días de macerado.
- La metodología desarrollada permite la implementación de los antioxidantes presentes en la hoja de amaranto a la tortilla de maíz, lo cual se comprobó con los ensayos llevados a cabo.
- La tortilla con extracto de hoja de amaranto cuenta con características similares a una tortilla normal, como inflado, rolabilidad, fácil masticación, flexibilidad, duración, así como en el contenido nutrimental.
- La mayor parte de productores no consume las hojas de amaranto después de los 45 días de crecimiento, por lo que es posible la disminución de los residuos a través de su aprovechamiento.
- Debido a la cantidad de residuos orgánicos generados en la cosecha de amaranto, el 50% de productores requieren de un plan de manejo de residuos de manejo especial, de acuerdo con lo señalado por la Norma Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011, Que establece los criterios para clasificar los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo.

## **ANEXO 1. FORMATO DE ENTREVISTA SEMIESTRUCTURADA.**

### **BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**

#### **Entrevista a Productores de Amaranto.**

El objetivo de la presente es recabar información relativa al cultivo de amaranto y de los residuos obtenidos en la cosecha en el municipio de Tochimilco, Puebla. La información será utilizada en el proyecto de investigación “Análisis de los antioxidantes en la hoja de *Amaranthus hypochondriacus* con manejo tradicional para su valoración alimenticia” que se desarrolla en el Posgrado en Ciencias Ambientales del Instituto de Ciencias de la BUAP, por lo cual agradezco el apoyo brindado.

Aplicador: Palmira Sheyla Gómez Torres.

Fecha:

Nombre del productor:

Edad:

Tiempo produciendo amaranto:

1. El terreno que usa para el cultivo ¿es suyo o rentado?
2. ¿Cuál es la superficie de la parcela y en dónde se localiza?
3. ¿En qué época del año realiza la siembra de amaranto?
4. ¿Qué duración tiene el ciclo de cultivo?
5. ¿Usa algún insumo para potenciar el crecimiento del cultivo?
  - a) Abono orgánico
  - b) Fertilizantes químicos
  - c) Sales
  - d) Otro
  - e) Ninguno
6. ¿Qué factores pueden afectar el crecimiento de la planta?
  - a) Plagas
  - b) Falta de agua o lluvia
  - c) Cantidad de hojas en la planta

- d) Sembrar fuera de temporada
7. ¿En algún momento cortan la hoja de amaranto durante el crecimiento de la planta?
  8. ¿Qué cantidad aproximadamente llegan a consumir de esas hojas o para qué las utilizan?
  9. ¿Qué tipo de residuos se generan en la cosecha?
    - a) Panojas
    - b) Hojas
    - c) Tallos
    - d) Otros
  10. ¿Qué hace con estos residuos?
  11. ¿Cuál es el rendimiento de un ciclo de cultivo de amaranto?

## ANEXO 2. ANOVA

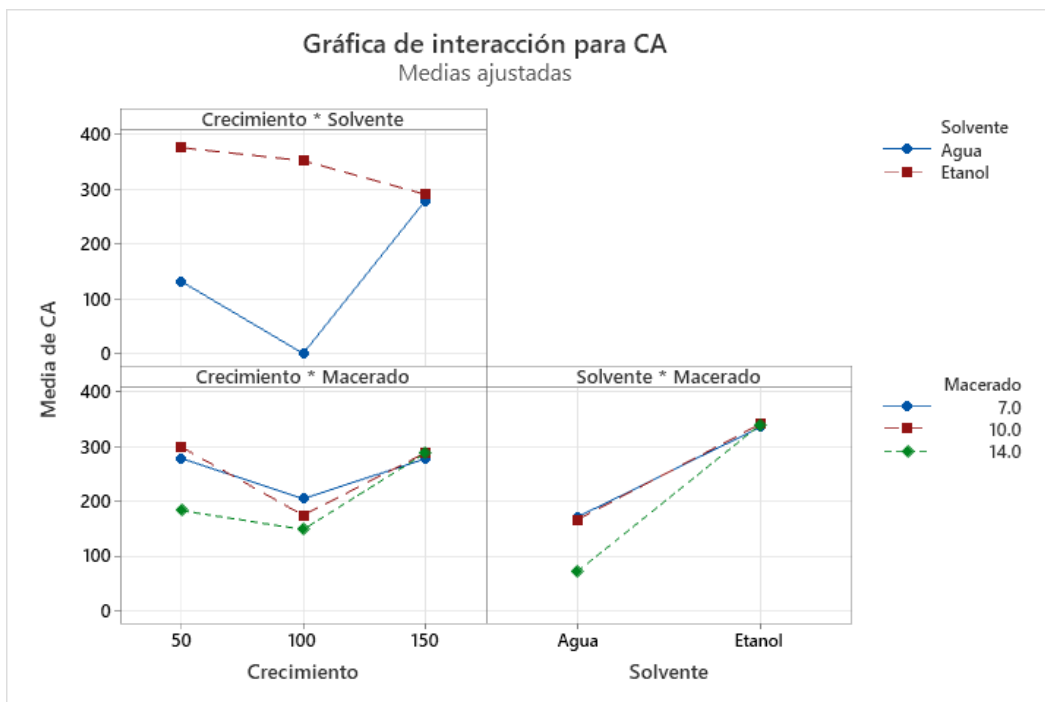
### CAPACIDAD ANTIOXIDANTE. DISEÑO MULTIFACTORIAL (3 FACTORES): CAPACIDAD ANTIOXIDANTE VS. CRECIMIENTO, SOLVENTE, MACERADO.

#### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	17	1391777	81869	1872.98	0.000
Lineal	5	922527	184505	4221.07	0.000
Crecimiento	2	149753	74877	1713.01	0.000
Solvente	1	736808	736808	16856.51	0.000
Macerado	2	35966	17983	411.41	0.000
Interacciones de 2 términos	8	439172	54897	1255.91	0.000
Crecimiento*Solvente	2	361325	180663	4133.15	0.000
Crecimiento*Macerado	4	38554	9639	220.51	0.000
Solvente*Macerado	2	39293	19646	449.47	0.000
Interacciones de 3 términos	4	30078	7519	172.03	0.000
Crecimiento*Solvente*Macerado	4	30078	7519	172.03	0.000
Error	54	2360	44		
Total	71	1394138			

#### Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
6.61140	99.83%	99.78%	99.70%



### Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Tratamiento	N	Media	Agrupación
50Et10	4	383.13	A
50Et14	4	372.94	A
50Et7	4	370.00	A B
100Et14	4	352.98	B C
100Et7	4	351.41	C
100Et10	4	350.39	C
150Et14	4	295.13	D
150Et10	4	289.87	D
150Ag10	4	286.37	D
150Et7	4	285.61	D E
150Ag14	4	279.61	D E
150Ag7	4	269.10	E
50Ag10	4	214.87	F
50Ag7	4	186.91	G
100Ag7	4	57.96	H
100Ag10	4	-1.30	I
50Ag14	4	-6.87	I
100Ag14	4	-56.09	J

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

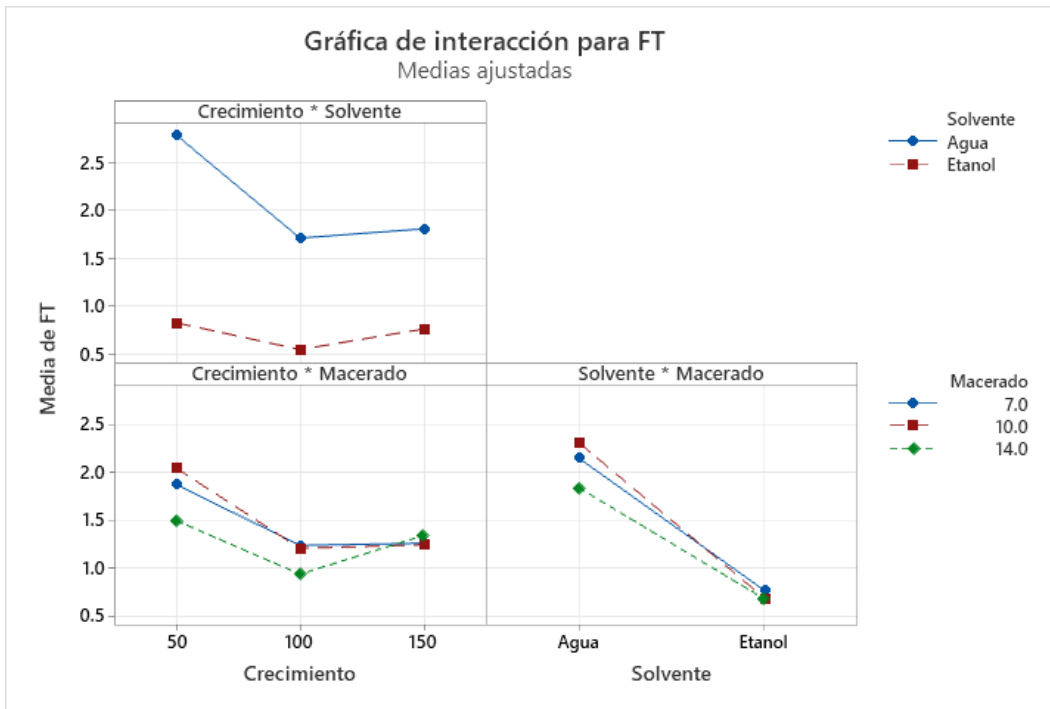
### FENOLES TOTALES. DISEÑO MULTIFACTORIAL (3 FACTORES): CAPACIDAD ANTIOXIDANTE VS. CRECIMIENTO, SOLVENTE, MACERADO.

#### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	17	47.2151	2.7774	38.33	0.000
Lineal	5	41.5117	8.3023	114.58	0.000
Crecimiento	2	6.0430	3.0215	41.70	0.000
Solvente	1	34.6846	34.6846	478.69	0.000
Macerado	2	0.7841	0.3921	5.41	0.007
Interacciones de 2 términos	8	4.5442	0.5680	7.84	0.000
Crecimiento*Solvente	2	2.9634	1.4817	20.45	0.000
Crecimiento*Macerado	4	0.9427	0.2357	3.25	0.018
Solvente*Macerado	2	0.6381	0.3190	4.40	0.017
Interacciones de 3 términos	4	1.1592	0.2898	4.00	0.006
Crecimiento*Solvente*Macerado	4	1.1592	0.2898	4.00	0.006
Error	54	3.9127	0.0725		
Total	71	51.1277			

#### Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
0.269178	92.35%	89.94%	86.40%



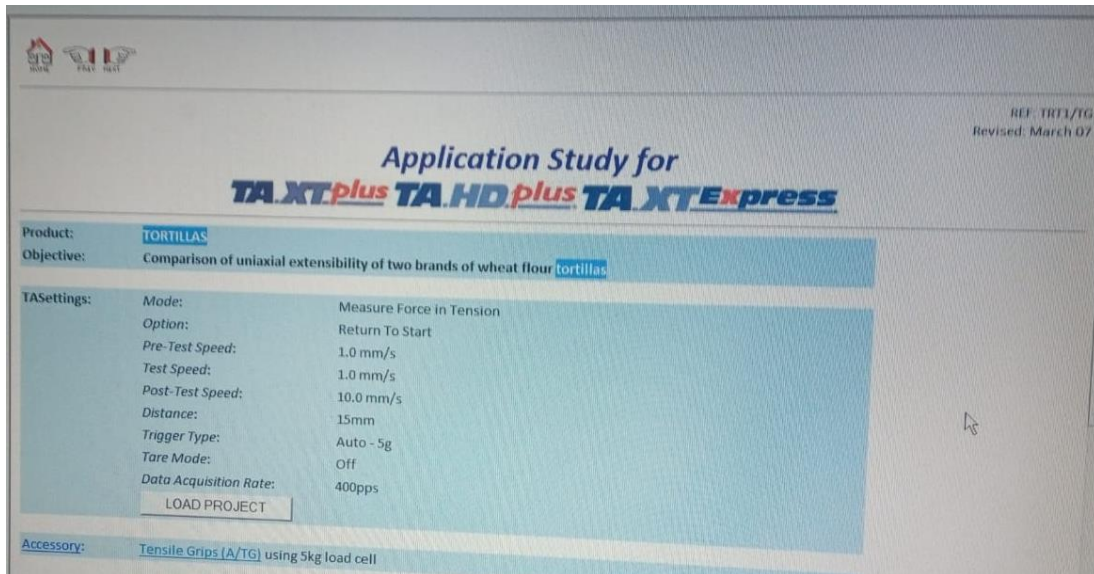
**Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%**

Tratamiento	N	Media	Agrupación
50Ag10	4	3.365	A
50Ag7	4	2.725	A B
50Ag14	4	2.2531	B C
150Ag14	4	1.8897	C D
100Ag7	4	1.8842	C D
100Ag10	4	1.8648	C D
150Ag7	4	1.8260	C D
150Ag10	4	1.6901	C D E
100Ag14	4	1.3684	D E F
50Et7	4	1.016	E F G
150Et10	4	0.7934	F G
150Et14	4	0.7890	F G
50Et14	4	0.7367	F G
50Et10	4	0.7167	F G
150Et7	4	0.6902	F G
100Et7	4	0.5856	G
100Et10	4	0.54341	G
100Et14	4	0.5021	G

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

### ANEXO 3. RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL TEXTURE ANALYSER

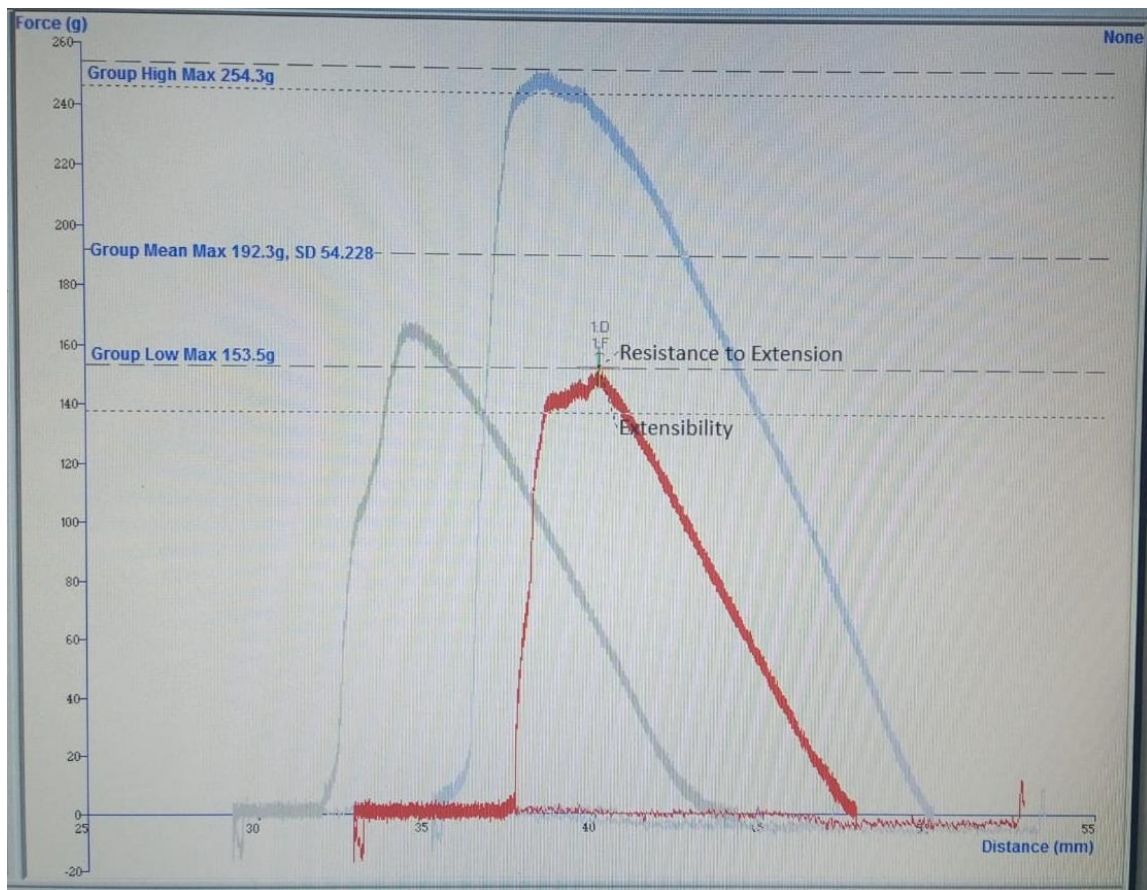
Aplicación utilizada por el equipo Texture Analyser TA-XT-plus:



Resultados de las mediciones:

Test ID		A	B	C	D	E
1	Test ID	Batch			Resistance to Extension g	Extensibility mm
2					Force 1	Distance 1
3						
5	Start Batch TEST	TEST				
6	TEST2	TEST			169.22	34.37
7	End Batch TEST	TEST				
8	Average:	TEST (F)	AVERAGE("BATCH")		169.22	34.37
9	S.D.	TEST (F)	STDEVP("BATCH")		0.00	0.00
10	C.V.	TEST (F)	STDEVP("BATCH")/AVERAGE("BATCH")*100		0.00	0.00
11	Start Batch 2	2				
12	23	2			254.26	38.09
13	End Batch 2	2				
14	Average:	2 (F)	AVERAGE("BATCH")		254.26	38.09
15	S.D.	2 (F)	STDEVP("BATCH")		0.00	0.00
16	C.V.	2 (F)	STDEVP("BATCH")/AVERAGE("BATCH")*100		0.00	0.00
17	Start Batch 3	3				
18	34	3			153.45	40.00
19	End Batch 3	3				
20	Average:	3 (F)	AVERAGE("BATCH")		153.45	40.00
21	S.D.	3 (F)	STDEVP("BATCH")		0.00	0.00
22	C.V.	3 (F)	STDEVP("BATCH")/AVERAGE("BATCH")*100		0.00	0.00
23	End of Test Data					

Gráfica obtenida por la aplicación del equipo Texture Analyser TA-Xt-plus:



## XI. LITERATURA CITADA

Aguayo-Rojas, J., Mora-Rochín, S., Cuevas-Rodríguez, E., Serna-Saldivar, S., Gutierrez-Urbe, J., Reyes-Moreno, C. & Milán-Carrillo, J. (2012). Phytochemicals and antioxidant capacity of tortillas obtained after lime-cooking extrusion process of whole pigmented mexican maize. *Plant Foods Hum Nutr.* 67 (2), 178-85. Doi: 10.1007/s11130-012-0288-y.

Alayo, M. y Montoya, B. (2013). *Determinación de los fitoconstituyentes y nutrientes de las hojas de Spinacia oleracea L. "espinaca", provenientes de las localidades de Santa Rosa y Pedregal de la provincia de Trujillo.* Universidad Nacional de Trujillo. Biblioteca de Farmacia y Bioquímica. <https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/3805/Alayo%20Nolasco%20Melissa%20Khateryne.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Alfaro, M., Martínez, A., Ramírez, R. y Bressani, R. (1987). Rendimiento y Composición química de las partes vegetativas del amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*, L.) en diferentes etapas fisiológicas. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición.* Vol. 37 (1), 108 – 21. <https://www.alanrevista.org/ediciones/1987/1/art-11/>

Alvarez - Jubete, L., Arendt, E. & Gallagher, E. (2010). Nutritive value of pseudocereals and their increasing use as functional gluten-free ingredients. *Trends in Food Science & Technology*, Vol. 21 (2), 106 – 113. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.10.014>

Antolovich, M., Prenzler, P., Patsalides, E., McDonald, S. & Robards, K. (2002). Methods for testing antioxidant activity. *Analyst.*127(1), 183-198. Doi: 10.1039/b009171p.

Antuna, O., Rodríguez, S., Arámbula, G., Palomo, A., Gutiérrez, E., Espinoza, A., Navarro, E. y Andrio, E. (2008). Calidad nixtamalera y tortilla en maíces de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, Vol. 31(3), 23-27. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61009705>

Araya, V., Alfaro, M. y Andonegui, M. (2007). Constructivismo: Orígenes y Perspectivas. *Laurus*, 13 (24), 76–92.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=76111485004>

Arellano, J. y Galicia, J. (2007). Rendimiento y características de planta y panoja de amaranto en respuesta a nitrógeno y cantidad de semilla. *Agricultura Técnica en México*, 33 (3), 251-258. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=608333304>

Artís, G. (1997). "Minifundio y fraccionamiento de la tierra ejidal parcelada", *Revista Estudios Agrarios*, Núm. 8, 11-31.

Ayala, A., Rivas – Valencia, P., Cortes – Espinoza, L., de la O, M., Escobedo – López, D., y Espitia – Rangel, E. La rentabilidad del cultivo de amaranto (*Amaranthus* spp.) en la región centro de México. *CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 21 (1), 47-54.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10429976006>

Becker, R., Wheeler, E. L., Lorenz, K., Stafford, A., Grosjean, O., Betschart, A. & Saunders, R. (1981). A compositional study of amaranth grain. *Journal of Food Science*. Vol. 46, 1175-1180. Doi: 10.1111/j.1365-2621.1981.tb03018.x.

Bedolla, S. & Rooney L. (1982). Cooking maize for masa production. *Cereal Foods World* 27 (5), 219-221.

Belton, P. & Taylor, J. (2002). *Pseudocereals and Less Common Cereals*. Springer – Verlag Berlin Heidelberg.

Brand-Williams, W., Cuvelier, M. & Berset, C. (1995) Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. *Food Science and Technology*, Vol. 28 (1), 25-30.  
[https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)

Castañeda – Arriaga, D., Hernández – Ayala, M., Olvera – Torres, D., Ramírez – Castillo, M., Cerón – García, A., Sosa – Morales, M. y Mares – Mares, E. (2018). Formulación y caracterización fisicoquímica, bromatológica y microbiológica de tortillas elaboradas con maíz y cacahuete. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, Vol. 3, 554 – 559.

Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria. (2014). *Consumo, distribución y producción de alimentos: el caso del complejo maíz–tortilla*. [http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/40Reporte\\_ma%C3%ADz-tortilla\\_septiembre\\_2014.pdf](http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/40Reporte_ma%C3%ADz-tortilla_septiembre_2014.pdf)

Cervantes, J. (1986). El amaranto: recurso forrajero mexicano no aprovechado. *México Veterinaria México*: XVII (4), 289 – 296.

Cheeke, P., Carlsson, R. & Kohler, G. (1981). *Nutritive value of leaf protein concentrates prepared from Amaranthus species*. *Can. J. Animal Sci.* 61:199-204

Colin – Chavez, C., Virgen – Ortiz, J., Serrano – Rubio, L., Martínez – Tellez, M. & Astier, M. (2020). Comparison of nutritional properties and bioactive compounds between industrial and artisan fresh tortillas from maize landraces. *Current Research in Food Science*, Vol. 3, 189 – 194. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2020.05.004>

[Consejo Nacional de Población. \(2010\). Índices de intensidad migratoria México-Estados Unidos por entidad federativa y municipio. \[http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/intensidad\\\_migratoria/anexos/Anexo\\\_B2.pdf\]\(http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/intensidad\_migratoria/anexos/Anexo\_B2.pdf\)](http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/intensidad_migratoria/anexos/Anexo_B2.pdf)

Del Pozo – Insfran, D.; Brenes, C., Serna, S & Talcott, S. (2006). Polyphenolic and antioxidant content of white and blue corn (*Zea mays* L.) products. *Food Research International*. 39 (6):696-703. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2006.01.014>

Espitia, E. (1986). *Situación actual y problemática del cultivo del amaranto en México*. In: Primer Seminario Nacional del Amaranto. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 101-108

Espitia, E., Mapes C., Escobedo, D., De la O, M., Rivas, P., Martínez, G., Cortés, L. y Hernández, J. (2010). *Conservación y uso de los recursos genéticos de amaranto en México*. INIFAP. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/232256/Conservacion\\_y\\_uso\\_de\\_los\\_recursos\\_geneticos\\_de\\_amaranto.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/232256/Conservacion_y_uso_de_los_recursos_geneticos_de_amaranto.pdf)

Secretaría de Bienestar (2021). *Informe Anual sobre la situación de Pobreza y Rezago Social 2021. Tochimilco, Puebla*.

[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/612521/Informe\\_anual\\_2021\\_mun\\_21\\_188.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/612521/Informe_anual_2021_mun_21_188.pdf)

Délano-Frier, J. y Martínez-Gallardo N. (2012). *El transcriptoma de Amaranthus Hypochondriacus L.: una poderosa herramienta para profundizar en su conocimiento y aprovechamiento*. En Espitia Rangel E. (Ed.) *Amaranto: Ciencia y Tecnología*. Libro Científico No. 2. INIFAP/SINAREFI. México, (31-48).

Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (2020). *Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. Estado de Puebla. Tochimilco*. <https://1library.co/document/z3mepj9y-enciclopedia-de-los-municipios-de-mexico-puebla-tochimilco.html>

Espitia, E., Ayala, A., Rivas, P., Escobedo, D., González, L., Valverde, M. y Sesma L. (2018). *Guía para la Producción de Amaranto en la Mesa Central de México*. Centro de Investigación Regional del Centro. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.

Food and Agriculture Organization. (2015). *Cultivos Andinos. El cultivo del Amaranto. Producción, Mejoramiento genético y Utilización*. Santiago (Chile) FAO/RLC.

FAOSTAT (2020). *Datos. Agricultura total. Quemado de Residuos Agrícolas*. Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

Figuroa, J., Acero, M., Vasco, N., Lozano, A., Flores, L. y González-Hernández, J. (2001). Fortificación y evaluación de tortillas de nixtamal. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, Vol. 51 (3), 293-302. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0004-06222001000300013&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222001000300013&lng=es&tlng=es).

García, R. (2006). *Sistemas complejos. Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. <http://secat.unicen.edu.ar/wp-content/uploads/2020/03/GARCIA-Sistemas-complejos1.pdf>

García, R. (2011). Interdisciplinaria y Sistemas complejos. [https://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/art\\_revistas/pr.4828/pr.4828.pdf](https://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/art_revistas/pr.4828/pr.4828.pdf)

Geankopolis, C.J. (1998). *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. 3ª Edición. Editorial Continental.

<https://fenomenosdetransporte.files.wordpress.com/2008/05/geankopolis.pdf>

Gins, M., Gins, V., Pivovarov, V. & Kononkov, P. (2016). Biologically Active Compounds with Antioxidant Activity in the Amaranth Red Leaves Extract. *Russ. Agricult. Sci.* 42, 420-422. <https://doi.org/10.3103/S1068367416060070>

Gutiérrez, J., Rivera-Dommarco, J., Shamah-Levy, T., Villalpando-Hernández, S., Franco, A., Cuevas-Nasu, L., Romero-Martínez, M., Hernández-Ávila, M. (2012) *Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2012. Resultados Nacionales*. Cuernavaca, México: Instituto Nacional de Salud Pública. <https://ensanut.insp.mx/encuestas/ensanut2012/doctos/informes/ENSANUT2012ResultadosNacionales.pdf>

Halliwell, B., Murcia, M., Chirico, S. & Aruoma, O. (1995). Free radicals and antioxidants in food and in vivo: what they do and how they work. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 35:1-2, 7-20. DOI: 10.1080/10408399509527682.

Hallsworth, J., & Magan, N. (1999). Water and temperature relations of growth of the entomogenous fungi *beauveria bassiana*, *metarhizium anisopliae*, and *paecilomyces farinosus*. *J Invertebr Pathol*, 74 (3), 261-6. Doi: 10.1006/jipa.1999.4883.

Henderson, T.L. 1993. Agronomic evaluation of grain amaranth in North Dakota. Tesis Ph. D. North Dakota State, North Dakota, USA.

Hernández, J. (2008). "*Tortilla de maíz pigmentado: digestibilidad del almidón, aspectos fisicoquímicos y moleculares*". Centro de Desarrollo de Productos Bióticos. Instituto Politécnico Nacional.

Hernández – Martínez, V., Salinas – Moreno, Y, Ramírez – Díaz, J., Vázquez – Carrillo G., Domingo – López, A. & Ramírez – Romero, A. (2016) Color, phenolic composition and antioxidant activity of blue tortillas from Mexican maize races. *CyTA – Journal of Food*, 13 (3), 473 – 481. <https://doi.org/10.1080/19476337.2015.1136842>

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>

Herrera-Sotero, M., Cruz-Hernández, C., Trujillo-Carretero, C., Rodríguez-Dorantes, M., García-Galindo, H., Chávez-Servia, J., Oliart-Ros, R. & Guzmán-Gerónimo, R. (2017). Antioxidant and antiproliferative activity of blue corn and tortilla from native maize. *Chem Cent J.*, 11(1), 110. Doi: 10.1186/s13065-017-0341-x.

Instituto de Nutrición de Centro de América y Panamá (INCAP) (2007). *Tabla de Composición de Alimentos de Centroamérica*. <http://www.incap.int/mesocaribefoods/dmdocuments/TablaCAAlimentos.pdf>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2009). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Tochimilco Puebla*. (21188)

Iturbide, G. y Gómez, L. (1986). Cultivo del amaranto en México Características botánicas de *Amaranthus Hypocondriacus*. Universidad autónoma Chapingo Dirección de zonas áridas México.

Iuga, M., Ávila, V., González, T. & Mironeasa, S. (2019). Consumer Preferences and Sensory Profile Related to the Physico-Chemical Properties and Texture of Different Maize Tortillas Types. *Foods*, 8(11), 533. Doi: 10.3390/foods8110533.

Jiménez-Juárez, J., Arámbula-Villa, G., Cruz-Lázaro, E., y Aparicio-Trapala, M. (2012). Característica del grano, masa y tortilla producida con diferentes genotipos de maíz del trópico mexicano. *Universidad y ciencia*, 28 (2), 145-152. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0186-29792012000200004&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-29792012000200004&lng=es&tlng=es).

Juan, R., Pastor, J., Alaiz, M., Megías, C. y Vioque, J. (2007). Caracterización proteica de las semillas de once especies de amaranto. *Grasas y aceites*, 58 (1), 49-55. [https://www.researchgate.net/publication/26524087\\_Caracterizacion\\_proteica\\_de\\_las\\_semillas\\_de\\_once\\_especies\\_de\\_amaranto](https://www.researchgate.net/publication/26524087_Caracterizacion_proteica_de_las_semillas_de_once_especies_de_amaranto)

Li, H., Deng, Z., Liu, R., Zhu, H., Draves, J., Marcone, M., Sun, Y. & Tsao R. (2014). Characterization of phenolics, betacyanins and antioxidant activities of the seed, leaf,

sprout, flower and stalk extracts of three *Amaranthus* species. *Journal of Food Composition and Analysis*. 37, 75 – 81. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.09.003>

López – Mejía, O., López – Malo, A. & Palou, E. (2014a). Antioxidant capacity of extracts from amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* L.) seeds or leaves. *Industrial Crops and Products*, Vol. 53, 55-59. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.12.017>

López – Mejía, O., López – Malo, A. y Palou, E. (2014b). Capacidad antioxidante de subproductos de semillas de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 64 (1), 50–58. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0004-06222014000100007&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222014000100007&lng=es&tlng=es).

Manterola, H., Cerda, D. y Mira, J. (1999). *Los Residuos agrícolas y su uso en la alimentación de rumiantes*. <http://bibliotecadigital.fia.cl/handle/20.500.11944/1908>.

Matsukawa, R., Dubinsky, Z., Kishimoto, E., Masaki, K., Masuda, Y., Takeuchi, T., Chihara, M., Yamamoto, Y., Niki, E., & Karube, I. A comparison of screening methods for antioxidant activity in seaweeds. *Journal of Applied Phycology* 9, 29–35 (1997). <https://doi.org/10.1023/A:1007935218120>

Montúfar - López, A. (2012). *Amaranto (Amaranthus spp.), planta ritual mesoamericana*. En Espitia Rangel E. (Ed.) *Amaranto: Ciencia y Tecnología*. Libro Científico No. 2. INIFAP/SINAREFI. México, (3-13).

Morán – Bañuelos, S., Cortés, L., Espitia, E. y Sangerman – Jarquín, D. (2012). *Tzoalli, de cuerpo de dioses a alegría de mortales*. En Espitia Rangel E. (Ed.) *Amaranto: Ciencia y Tecnología*. Libro Científico No. 2. INIFAP/SINAREFI. México, (15-27).

Mapes, C. y Basurto, F. (2012). El uso del Amaranto (*Amaranthus spp.*) como verdura en la Sierran Norte de Puebla. Red de Amaranto SINAREFI. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/232243/Red\\_amaranto\\_sinarefi.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/232243/Red_amaranto_sinarefi.pdf)

Mapes, C., Basurto, F. y Bautista, L., (2012). *Manejo y Cultivo de Amaranthus spp. como Quelite en la Sierra Norte de Puebla, México*.

[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/232241/Manejo\\_y\\_cultivo\\_de\\_amaranthus\\_spp.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/232241/Manejo_y_cultivo_de_amaranthus_spp.pdf)

Mapes, C., Morales, J., Peralta, L., Basurto, F. y Bautista, L. (2014). *Composición Química de Hojas de Amaranthus ("Quintoniles") de la Sierra Norte de Puebla, México*. Memoria Congreso Nacional del Amaranto. [https://www.researchgate.net/profile/Daniel-De-Jesus-](https://www.researchgate.net/profile/Daniel-De-Jesus-Contreras/publication/317371014_Importancia_de_la_Indicacion_Geografica_IG_en_la_proteccion_y_revalorizacion_del_amaranto_Amaranthus_spp_de_Mexico/links/5936feb9a6fdcca65871bc15/Importancia-de-la-Indicacion-Geografica-IG-en-la-proteccion-y-revalorizacion-del-amaranto-Amaranthus-spp-de-Mexico.pdf)

[Contreras/publication/317371014\\_Importancia\\_de\\_la\\_Indicacion\\_Geografica\\_IG\\_en\\_la\\_proteccion\\_y\\_revalorizacion\\_del\\_amaranto\\_Amaranthus\\_spp\\_de\\_Mexico/links/5936feb9a6fdcca65871bc15/Importancia-de-la-Indicacion-Geografica-IG-en-la-proteccion-y-revalorizacion-del-amaranto-Amaranthus-spp-de-Mexico.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Daniel-De-Jesus-Contreras/publication/317371014_Importancia_de_la_Indicacion_Geografica_IG_en_la_proteccion_y_revalorizacion_del_amaranto_Amaranthus_spp_de_Mexico/links/5936feb9a6fdcca65871bc15/Importancia-de-la-Indicacion-Geografica-IG-en-la-proteccion-y-revalorizacion-del-amaranto-Amaranthus-spp-de-Mexico.pdf)

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 and No Positive Results*, 3 (6), 423-436. DOI: 10.19230/jonnpr.2410

Montero, M. (1996). *Los Radicales Libres y las Defensas Antioxidantes. Revisión*. <https://doi.org/10.15381/anales.v57i4.4897>

Mujica, A. y Quillahuaman, A. (1989). *Fenología del cultivo de la kiwicha (Amaranthus caudatus L.)*. En: Curso taller fenología de cultivos andinos y uso de la información agrometeorológica. p. 29-31.

Nyeléni Declaration (2007). *The Six Pillars of Food Sovereignty*. Nyéléni Forum, Mali 2007. <https://viacampesina.org/en/wp-content/uploads/sites/2/2018/02/Food-Sovereignty-A-guide-Low-Res-Vresion.pdf>

Omamt, E., Hammes P. & Robbertse, P. (2006). Differences in salinity tolerance for growth and water-use efficiency in some amaranth (*Amaranthus spp.*) genotypes. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*. Vol.34, 11-22 <https://doi.org/10.1080/01140671.2006.9514382>

Padrón, J. (2007). Tendencias epistemológicas de la investigación científica en el siglo XXI. *Cinta de Moebio*, (28),1-28. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10102801>

Pérez, B., Aragón, A., Pérez, R., Hernández, L., & López, J. (2011). Estudio entomofaunístico del cultivo de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.) en Puebla México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2 (3), 359-371. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342011000300005&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342011000300005&lng=es&tlng=es).

Pérez, S., Vega-García, L. y Romero-Juárez G. (2007). Practicas alimentarias de mujeres rurales: ¿una nueva percepción del cuerpo? *Salud Pública Mex.* Vol. 49, 52 – 62. <https://www.scielo.org.mx/pdf/spm/v49n1/a08v49n1.pdf>

Pérez – Nájera, V., Lugo – Cervantes, E., Gutiérrez – Lomelí, M. y Del – Toro - Sánchez C. (2013). Extracción de Compuestos Fenólicos de la Cáscara de Lima (*Citrus limetta* Risso) y Determinación de su actividad antioxidante. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud.* Vol. XV (3), 18 – 22.

Rojas-Molina, I., Mendoza-Avila, M., Cornejo-Villegas, M., Real-López, A., Rivera-Muñoz, E., Rodríguez-García, M. & Gutiérrez-Cortez, E. (2020). Physicochemical Properties and Resistant Starch Content of Corn Tortilla Flours Refrigerated at Different Storage Times. *Foods*, 9(4), 469. Doi: 10.3390/foods9040469.

Rojas, T. (1991). *La agricultura en la época prehispánica en La agricultura en tierras mexicanas desde sus orígenes hasta nuestros días*, México. Grijalbo. México.

Sánchez – Olarte, J., Argumedo – Macías, A., Álvarez – Gaxiola, J., Méndez – Espinoza, J. y Ortiz – Espejel, B. (2016). Análisis económico del sistema sociotécnico del cultivo de amaranto en Tochimilco, Puebla. *Acta Universitaria.* Vol. 26 (3), 95 – 104. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41646427010>

Sánchez-Marroquín, A., Del-Valle, F., Escobedo, M., Avitia, R., Maya S. & Vega, M. 1986. Evaluation of whole amaranth (*Amaranthus cruentus*) flour, its air-classified fractions, and blends of these with wheat and oats as possible components for infant formulas. *Journal Food Science.* 51(5), 1231-1234. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1986.tb13092.x>

Santoyo, H., Ramírez, P. y Suvedi M. (2002). *Manual para la evaluación de programas de desarrollo rural*. <https://ciestaam.edu.mx/libro/manual-la-evaluacion-programas-desarrollo-rural-2/>

Sarker, U., Islam, T., Rabbani, G. & Oba, S. (2018). Phenotypic divergence in vegetable amaranth for total antioxidant capacity, antioxidant profile, dietary fiber, nutritional and agronomic traits. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B- Soil & Plant Science*, Vol. 68 (1), 67-76. <https://doi.org/10.1080/09064710.2017.1367029>

Sarker, U. & Oba, S. (2020). Nutritional and bioactive constituents and scavenging capacity of radicals in *Amaranthus hypochondriacus*. *Scientific reports*, 10. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71714-3>.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, (2015). *Plan de Manejo de Residuos Generados en Actividades Agrícolas. Primera Etapa: Diagnóstico Nacional*.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, (2020). *Conoce la canasta básica Segalmex-Diconsa*. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/conoce-la-canasta-basica-segalmex-diconsa?idiom=es>

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2021). *Panorama Agroalimentario* 2021. [https://nube.siap.gob.mx/gobmx\\_publicaciones\\_siap/pag/2021/Panorama-Agroalimentario-2021](https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2021/Panorama-Agroalimentario-2021)

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2020). *Estadística de la Producción Agrícola de 2020*. <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. (2010). *Productos agrícolas destinados para consumos humano – Grano reventado de amaranto (Amaranthus spp.) para uso y consumo humano – Especificaciones y Métodos de Ensayo*. (NMX-FF-116-SCFI-2010).

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. (1986). *Alimentos – Determinación de humedad en productos alimenticios*. (NMX-F-083-1986).

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. (1978). *Determinación de cenizas en alimentos*. (NMX-F-066-S-1978). <https://xdoc.mx/documents/nmx-f-066-s-1978-determinacion-de-cenizas-en-alimentos-5f9b9221d6381>

Secretaría de Economía. (2012). *Leche – Denominaciones, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba*. (NOM-155-SCFI-2012). <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4692/seeco/seeco.htm>

Secretaría de Economía. (2011). *Industria azucarera y alcoholera – Determinación de reductores totales en azúcares y materiales azucarados*. (NMX-F-496-SCFI-2011). <http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/2010/nmx-f-496-scfi-2011.pdf>

Secretaría de Economía. (2019). *Determinación de extracto etéreo (Método Soxhlet) en alimentos*. (NMX-F-615-NORMEX-2018).

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2013). *Que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo*. (NOM-161-SEMARNAT-2011) [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5286505&fecha=01/02/2013#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5286505&fecha=01/02/2013#gsc.tab=0)

Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial. (1979). *Determinación de fibra cruda en Alimentos*. (NOM-F-90-S-1978). [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=4799842&fecha=27/03/1979#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4799842&fecha=27/03/1979#gsc.tab=0)

Secretaría de Salud. (2013). *Servicios básicos de salud. Promoción y educación para la salud en materia alimentaria. Criterios para brindar orientación*. (NOM-043-SSA2-2012). [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5285372&fecha=22/01/2013#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5285372&fecha=22/01/2013#gsc.tab=0)

Silva, C. (2007). *Caracterización fisicoquímica y nutraceútica de amaranto (Amaranthus hypochondriacus) cultivado en San Luis Potosí*. Instituto Potosino de

Silva, S., Corzas, J., Ramos, M. y Huerta., M. (2019). Saberes campesinos al cultivar amaranto, a los pies del Popocatepetl. *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias*, 10 (26), 67 – 78. <https://rlac.buap.mx/sites/default/files/10%2826%29-5.pdf>

Singleton, V.L. & Rossi, J.A. (1965). Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. *Am. J. Enol. Vitic*, 16, 144–158.

Suhendro., E., Almeida – Dominguez, H., Rooney, L., Waniska, R. & Moreira, R. (1999). Use of Extensibility to Measure Corn Tortilla Texture. *Cereal Chemistry*, Vol.76 (4), 536 – 540. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.1999.76.4.536>

Sumar, L. (1993). *La kiwicha y su cultivo*. CBC, Centro Bartolomé de las Casas. Cusco.

Universidad Distrital Francisco José de Caldas (2020). Guía para la Recolección y Preservación de Muestras Botánicas en Campo.

Vollmannová, A., Margitanová, E., Tóth, T., Timoracká, M., Urminská, D., Bojňanská, T. & Čičová I. (2013). Cultivar Influence on Total Polyphenol and Rutin Contents and Total Antioxidant Capacity in Buckwheat, Amaranth, and Quinoa Seeds. *Czech J. Food Sci*, Vol. 31 (6), 589 – 595. <https://doi.org/10.17221/452/2012-CJFS>

World Wildlife Fund (2019). *Future 50 Foods*. <https://www.wwf.org.uk/updates/wwf-and-knorr-launch-future-50-foods>

Ximitl, I. (2017). “Remesas y migración laboral en los Estados Unidos, estudio de caso en el municipio de Tochimilco, Puebla”. XIV Coloquio Internacional de Cuerpos Académicos y Grupos de Investigación en Análisis Organizacional Las organizaciones contemporáneas, problemáticas y perspectivas de estudio. <https://fddocuments.ec/document/xiv-coloquio-internacional-de-cuerpos-academicos-y-familias-en-el-ano-de-2012.html?page=1>

Zapata, M. (2018). *Mejoramiento de la tecnología de secado de tomillo (Thymus vulgaris L.) mediante el diseño y construcción de un equipo de deshidratación*.

Universidad Nacional de San Agustín. Perú.  
<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/7133>