



Beneficios del amaranto y sus propiedades nutrimentales

Nombre del alumno: Valdez Acevedo Mónica

Nombre del catedrático: Cordero Gordillo María del
Carmen.

Materia: Seminario de tesis

Carrera: Licenciatura en nutrición

Grado: octavo cuatrimestre

Comitán de Domínguez Chiapas a de Febrero de 2020.

INDICE TENTATIVO

CAPÍTULO I

1. Protocolo de investigación

1. Planteamiento del problema

1.1.1 Preguntas de investigación

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

1.2.2 Objetivos específicos

1.3 Justificación

1.4 Hipótesis

1.4.1 Variables

1.5 Metodología

1.5.2 Diseño de técnicas de investigación

CAPITULO II

2. ANTECEDENTES

2.1. EL AMARANTO

2.1.2. Historia del amaranto

2.1.3. Composición del grano

2.1.4. Usos del amaranto

2.2. IMPORTANCIA DE LA FIBRA DIETÉTICA

2.2.1. Definición

2.2.2. Composición

2.2.3. Clasificación

2.2.4. Propiedades Tecnológicas y fisiológicas

2.2.5. Aplicaciones

2.2.6. Funcionalidad de la fibra

2.2.7 Efecto del procesamiento sobre la funcionalidad de la fibra

2.2.8. Determinación de la Fibra Dietética

CAPITULO III

3. MARCO TEORICO

3.1 COMPUESTOS BIOACTIVOS ASOCIADOS A LA FIBRA DIETÉTICA

3.1.1 Compuestos fenólicos

3.1.2 Clasificación de interés nutricional: polifenoles solubles e insolubles

3.1.3 Compuestos fenólicos como antioxidantes

3.1.4 Defensa antioxidante en alimentos y en sistemas biológicos

3.1.5 Relación estructura-actividad antioxidante de fenoles

3.1.6 Determinación de la Actividad Antioxidante

3.1.6.1 Métodos para determinar la capacidad antioxidante

3.2. ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS

3.3 Contenido de Fibra Dietética

3.3.1 Determinación de Fibra Dietética Total

3.3.2 Determinación de Fibra Dietética Soluble y Fibra Dietética Insoluble

3.4. DETERMINACIÓN DE POLIFENOLES

INTRODUCCION:

Se ha reportado que la ingesta de fibra dietética (FD) en México tiene una alta variabilidad entre diferentes grupos de la población. En promedio la dieta rural contiene hasta cuatro veces más fibra dietética que la consumida en las áreas urbanas. El bajo consumo de fibra, se debe principalmente al proceso de urbanización, que se traduce en una mayor ingesta de alimentos refinados, productos industrializados y alimentos de origen animal teniendo implicaciones fisiológicas importantes. Una baja ingesta de fibra dietética ha sido asociada con incidencias altas de enfermedades como hipertensión, enfermedades coronarias, desórdenes intestinales, diabetes y cáncer en el colon, lo que demuestra el enorme potencial terapéutico de la incorporación de la fibra dietética a productos de consumo humano y que ha sido causa de búsqueda de nuevas fuentes de fibra.

Recientes avances en el desarrollo de productos nutraceúticos a partir de alimentos o de sus aislados han marcado énfasis en la obtención de metabolitos secundarios como los polifenoles, que se asocian con propiedades anticancerígenas, antiinflamatorias y químico protectores, las cuales se atribuyen a su actividad antioxidante. La incorporación de fibra en productos alimenticios otorga características de nutraceútico debido a las propiedades fisiológicas de la fibra dietética aunadas a las propiedades de los polifenoles ligados a ella.

El amaranto (*Amaranthus* spp.) es una dicotiledónea que tuvo enorme importancia en la dieta de la América precolombina. Los granos presentan un contenido de proteína, grasas y fibra superior al de cereales convencionales, la calidad de su proteína es comparable al de la soya y la levadura, presenta un alto contenido de lisina y aminoácidos azufrados, lo que permite su uso para complementar dietas con cereales y leguminosas obteniendo una calidad proteínica similar a la de origen animal. Debido a la estructura y morfología del grano de amaranto es posible la separación de sus partes obteniendo fracciones con diferentes propiedades nutritivas.

La National Academy of Science reconoció que el amaranto puede representar un recurso agrícola potencialmente explotable, particularmente para países emergentes y que es necesario el trabajo de investigación y desarrollo de alimentos para saber la funcionalidad de los concentrados de proteína a partir del grano, el tiempo de caducidad

y los efectos del proceso sobre la funcionalidad y calidad nutricional del amaranto. El principal desafío es incorporar al amaranto en formulaciones existentes de alimentos para modificar su calidad funcional y nutrimental, así como crear nuevos productos del grano y del vegetal del amaranto.

Su contenido nutrimental, su alta tolerancia a condiciones áridas donde los cereales no pueden crecer fácilmente, y por su potencial como una nueva fuente de alimento para el mundo, el amaranto ha sido motivo de investigaciones tanto de la calidad de la proteína, la caracterización de los aceites, el estudio de los almidones de su harina, y los nuevos productos alimenticios en los que se puede incluir.

1. Planteamiento del problema

El amaranto (*Amaranthus* spp.) es una dicotiledónea que tuvo enorme importancia en la dieta de la América precolombina. Los granos presentan un contenido de proteína, grasas y fibra superior al de cereales convencionales, la calidad de su proteína es comparable al de la soya y la levadura, presenta un alto contenido de lisina y aminoácidos azufrados, lo que permite su uso para complementar dietas con cereales y leguminosas obteniendo una calidad proteínica similar a la de origen animal. Debido a la estructura y morfología del grano de amaranto es posible la separación de sus partes obteniendo fracciones con diferentes propiedades nutritivas.

La National Academy of Science reconoció que el amaranto puede representar un recurso agrícola potencialmente explotable, particularmente para países emergentes y que es necesario el trabajo de investigación y desarrollo de alimentos para saber la funcionalidad de los concentrados de proteína a partir del grano, el tiempo de caducidad y los efectos del proceso sobre la funcionalidad y calidad nutricional del amaranto. El principal desafío es incorporar al amaranto en formulaciones existentes de alimentos para modificar su calidad funcional y nutrimental, así como crear nuevos productos del grano y del vegetal del amaranto.

Su contenido nutrimental, su alta tolerancia a condiciones áridas donde los cereales no pueden crecer fácilmente, y por su potencial como una nueva fuente de alimento para el mundo, el amaranto ha sido motivo de investigaciones tanto de la calidad de la proteína, la caracterización de los aceites, el estudio de los almidones de su harina, y los nuevos productos alimenticios en los que se puede incluir.

Por eso debido a la importancia de este alimento; este trabajo pretende ser una pequeña contribución que lleve a la búsqueda y conocimiento del amaranto como una alternativa en la alimentación, como recurso vegetal de grandes potenciales, siendo sobre todo una fuente proteínica de gran valor, lo que ayudaría a disminuir los problemas de mala alimentación y desnutrición.

Otro punto importante es que se ha reportado que la ingesta de fibra dietética (FD) en México tiene una alta variabilidad entre diferentes grupos de la población. En promedio la dieta rural contiene hasta cuatro veces más fibra dietética que la consumida en las

áreas urbanas. El bajo consumo de fibra, se debe principalmente al proceso de urbanización, que se traduce en una mayor ingesta de alimentos refinados, productos industrializados y alimentos de origen animal teniendo implicaciones fisiológicas importantes. Una baja ingesta de fibra dietética ha sido asociada con incidencias altas de enfermedades como hipertensión, enfermedades coronarias, desórdenes intestinales, diabetes y cáncer en el colon, lo que demuestra el enorme potencial terapéutico de la incorporación de la fibra dietética a productos de consumo humano y que ha sido causa de búsqueda de nuevas fuentes de fibra.

Recientes avances en el desarrollo de productos nutracéuticos a partir de alimentos o de sus aislados han marcado énfasis en la obtención de metabolitos secundarios como los polifenoles, que se asocian con propiedades anticancerígenas, antiinflamatorias y químico protectores, las cuales se atribuyen a su actividad antioxidante. La incorporación de fibra en productos alimenticios otorga características de nutracéutico debido a las propiedades fisiológicas de la fibra dietética aunadas a las propiedades de los polifenoles ligados a ella.

Y ya que las potenciales nutritivas del cultivo son hasta ahora un poco desconocidas por la mayoría de la población, pretendo proponer en este trabajo algunas formas de utilización del amaranto; para que así esta planta pueda llegar a formar parte de la dieta, enriqueciendo el valor nutritivo de esta, a un bajo costo.

1.1 Preguntas de investigación

1. ¿Cuáles son las características y cualidades que presenta el amaranto?
2. ¿Cuál es el perfil composicional de la fibra soluble e insoluble de la fibra dietética del amaranto?
3. ¿Cuál es la capacidad antioxidante de la fibra dietética del amaranto?
4. ¿El amaranto es una alternativa en la alimentación con un excelente valor nutrimental?

2. Objetivos.

2.1 objetivo general

Demostrar que el amaranto es una alternativa en la alimentación con un excelente valor nutrimental

2.2 objetivos específicos

- Conocer las características y cualidades que presenta el amaranto para su mejor aprovechamiento
- Conocer el perfil composicional de la fibra soluble e insoluble de la fibra dietética del amaranto.
- Conocer la capacidad antioxidante de la fibra dietética del amaranto.
- Proponer algunas formas de utilización del amaranto

3. Justificación.

El amaranto fue de gran importancia en la economía de los primeros habitantes del continente americano, así como la elaboración de diversos productos que eran usados en las ceremonias de carácter religioso de aquellos tiempos.

Debido a la adoración que le profesaban, su cultivo fue prohibido por los españoles, sin embargo, no consiguieron hacer desaparecer la semilla, pero si disminuir su notable producción.

El amaranto también es un excelente alimento, de primera calidad el cual contiene sustancias nutritivas, suficientes para una dieta correcta, además de su alta digestibilidad en sus semillas, harinas y fracciones proteicas, la gran rusticidad del amaranto y su adaptabilidad a suelos pobres y climas adversos, lo convierte en un cultivo de fácil desarrollo y resulta altamente ecomendable para su industrialización y consumo humano. Sus hojas se pueden utilizar en cualquier platillo culinario, solo es necesario tener interés e imaginación para prepararlo, ya que adicionalmente sus hojas tienen una alta calidad nutritiva y un agradable sabor. Por ende el objetivo de este trabajo es resaltar las características y propiedades del amaranto, y proponer formas de utilización del mismo.

4. Hipótesis

El amaranto es una planta que aporta una gran cantidad de nutrientes y por lo mismo es beneficioso para el organismo

4.1 Variables

4.1.1 Variable independiente: amaranto

4.1.2 variable dependiente: nutrientes y benefenecios al organismo

5. Marco de la investigación

5.1 Marco histórico:

Las evidencias arqueológicas muestran que las hojas y semillas del amaranto utilizadas por los habitantes de América antes de que se diera el proceso de domesticación de esas plantas, que fue paralelo al del maíz de 5200 a 3400 a.C El amaranto fue introducido y cultivado en muchas partes del mundo, por ejemplo, en el sur de Estados Unidos; en Argentina, a través de los Andes; en Guatemala; India, en el sureste de Asia y en el este de África.

El huauhtli como lo llamaban los aztecas llegó a ser uno de los cuatro cultivos más importantes junto con el maíz, frijol, y chíá. El huauhtli también se encontraba íntimamente vinculado a los ritos religiosos, pues se sembraba para protegerse contra los espíritus malignos: las mujeres usaban la semilla para elaborar el zoale (alimento religioso que se ofrecía al dios del fuego en el mes de enero) y para celebrar el rito Teoqualo (comer al Dios). Trituraban la semilla y la mezclaban con miel o sangre humana, a esta masa tejida de rojo le daban forma de serpientes, aves, montañas, perros, dioses, que comían en los templos durante la ceremonia de ofrendas humanas.

Según Vietmeyer (1982) El huauhtli era la planta comercial más importante de los aztecas y otros pueblos de México.

Debido a que el Amaranto estaba muy relacionado con rituales religiosos Hernán Cortés ordenó su destrucción castigando con la muerte a cualquiera que la cultivara; así la producción de amaranto fue decayendo. Pero gracias a la magnífica adaptación de esta planta a nuestros climas y su gran resistencia a las heladas, plagas y el sentido tradicionalista de nuestro pueblo impidieron su desaparición. Hoy en día su alto contenido nutricional, su alto rendimiento y resistencia, dado que la mayor parte de cultivos en México son de temporal, hacen del amaranto una opción viable de cultivo en México con énfasis en zonas de temporal muy variables y de baja o nula tecnología moderna. En la actualidad su cultivo está reducido a pequeñas zonas, de las cuales las principales se encuentran en Puebla, Tlaxcala, Distrito Federal, Estado de México y Morelos.

5.2 Marco conceptual:

Para comprender mejor el significado y la relación que existe entre la investigación se mencionaran algunos conceptos clave:

Alimento: En términos del Codex Alimentarius, es toda sustancia elaborada, semi-elaborada o natural, que se destina al consumo humano, incluyendo las bebidas, el chicle y cualesquiera otras sustancias que se utilicen en la fabricación, preparación o tratamiento de los alimentos, pero no incluye los cosméticos ni el tabaco ni las sustancias utilizadas solo como medicamentos. En términos del Código alimentario Argentino (Ley 18.284): es toda sustancia o mezcla de sustancias naturales o elaboradas que ingeridas por el hombre, aporten a su organismo los materiales y la energía necesarios para el desarrollo de sus procesos biológicos. La designación " alimento" incluye además las sustancias o mezclas de sustancias que se ingieren por hábito, costumbres, o como coadyuvantes, tengan o no valor nutritivo.

Antioxidantes: son sustancias que forma parte de los alimentos de consumo cotidiano y que puede prevenir los efectos adversos de especies reactivas sobre las funciones fisiológicas normales de los humano

Bacteria: Son microorganismos unicelulares que se reproducen por fisión binaria muchas de las cuales son saprófitas, otras son beneficiosas y el hombre las utiliza para la producción de sustancias en su beneficio (yogur, antibióticos) pero existe un grupo de ellas que causan enfermedades y se las denomina bacterias patógenas. Las bacterias para poder ejercer su agresión necesitan alimentarse y multiplicarse y esto lo hacen a expensas de las sustancias que componen los alimentos o las células del organismo.

Contaminación: Presencia de un agente en el cuerpo, o en cualquier objeto, o en un alimento que son capaces de causar enfermedad en una persona. Introducción o aparición de una sustancia contaminante en un alimento o entorno alimenticio.

Contaminante: Se entiende por contaminante cualquier sustancia, no añadida intencionalmente al alimento, que está presente en dicho alimento como resultado de la producción (incluidas las operaciones realizadas en agricultura, zootecnia y medicina veterinaria), fabricación, elaboración, preparación, tratamiento, envasado, empaquetado, transporte o almacenamiento de dicho alimento o como resultado de la contaminación

ambiental. Este término no abarca fragmentos de insectos, pelos de roedores y otras materias extrañas (Codex Alimentarius).

Célula: es la unidad básica, estructural y funcional de los seres vivos.

Enzimas: son proteínas que catalizan reacciones químicas en los seres vivos. Los enzimas son catalizadores, es decir, sustancias que, sin consumirse en una reacción, aumentan notablemente su velocidad. No hacen factibles las reacciones imposibles, sino que sólo aceleran las que espontáneamente podrían producirse. Ello hace posible que en condiciones fisiológicas tengan lugar reacciones que sin catalizador requerirían condiciones extremas de presión, temperatura o pH.

Fibra dietética o alimentaria la que contiene polisacáridos de los vegetales y lignina resistentes a la hidrólisis por las enzimas digestivas humanas. Según su composición química, podemos definir la **fibra** como la suma de lignina y polisacáridos que no contienen almidón.

Fibra insoluble o escasamente fermentable: Son compuestos que debido a su composición química presentan una escasa capacidad para retener agua y crear así soluciones viscosas tanto en el estómago como en el intestino delgado. Este tipo de fibra actúa principalmente en el intestino grueso aumentando el peso y el volumen de las heces. Esto hecho provoca una aceleración del tránsito intestinal y, por consiguiente, un efecto laxante. Forman parte de este grupo: la celulosa, algunas hemicelulosas y la lignina.

Fibra soluble o fermentable: Son compuestos que forman soluciones muy viscosas en agua tanto en el estómago como en el intestino delgado.

Inocuidad de Alimentos: De acuerdo a lo establecido por el Codex Alimentarius es la garantía de que un alimento no causará daño al consumidor cuando el mismo sea preparado o ingerido de acuerdo con el uso a que se destine. Los alimentos son la fuente principal de exposición a agentes patógenos, tanto químicos como biológicos (virus, parásitos y bacterias), a los cuales nadie es inmune, ni en los países en desarrollo ni en los desarrollados. Cuando son contaminados en niveles inadmisibles de agentes patógenos y contaminantes químicos o con otras características peligrosas, conllevan riesgos sustanciales para la salud de los consumidores y representan grandes cargas económicas para las diversas comunidades y naciones. La temática de inocuidad es muy

amplia, se refiere también a los contaminantes químicos presentes en los alimentos, alimentos producidos por los modernos medios biotecnológicos, evaluación de riesgos microbiológicos, y publicaciones y documentos.

Inocuo: Es libre de peligro, digno de confianza, que no produce injuria alguna. Certeza que la ingestión del alimento no producirá enfermedad, habida cuenta que la manera y cantidad de ingestión sea la adecuada. Inocuo es sinónimo de seguro en una de las acepciones del español, pero no es aconsejable su uso porque se lo puede confundir con seguridad alimentaria la que difiere de inocuidad de los alimentos. El uso de la palabra seguridad como sinónimo de inocuidad no es adecuado por no ser equivalentes. Al traducir del idioma inglés "food safety" se lo hizo como "seguridad de los alimentos" y la realidad es que en inglés seguridad de los alimentos es "food security" mientras que inocuidad de los alimentos es "food safety". **Inocuidad:** Es calidad de inocuo.

Macronutrientes: se conoce con este nombre a las grasas, proteínas y glúcidos (azúcares), mal llamados carbohidratos. Se denominan macronutrientes porque son los componentes mayoritarios de nuestra dieta, presentes en cantidades muchísimo mayores que el resto de nutrientes.

Micronutrientes: como su nombre indica, al contrario que los anteriores, estos están presentes en mucha menos cantidad. Pero eso no significa que sean menos importantes. Al contrario, un déficit en estas sustancias, que son minerales, oligoelementos y vitaminas, básicamente, puede causar un grave desbarajuste en nuestra salud.

Nutrición: es la ingesta de alimentos en relación con las necesidades dietéticas del organismo. Una buena nutrición (una dieta suficiente y equilibrada combinada con el ejercicio físico regular) es un elemento fundamental de la buena salud.

Radicales libres son átomos o grupos de átomos que tienen un electrón desapareado o libre por lo que son muy reactivos ya que tienden a captar un electrón de moléculas estables con el fin de alcanzar su estabilidad electroquímica. Una vez que el radical libre ha conseguido sustraer el electrón que necesita, la molécula estable que se lo cede se convierte a su vez en un radical libre por quedar con un electrón desapareado, iniciándose así una verdadera reacción en cadena que destruye nuestras células.

Salud: "es un estado de completo bienestar físico, mental y social, y no solamente la ausencia de afecciones o enfermedades» (OMS).

Saludable: Es algo que sirve para conservar la salud. El que un alimento sea saludable, depende intrínsecamente de sus propiedades nutritivas pero también existen factores extrínsecos (clima, aspectos psicológicos o fisiológicos de los consumidores, de disponibilidad de los alimentos, etc.) que lo harán más o menos saludable. La consideración generalizada que todos los alimentos son saludables hace difícil difundir el conocimiento que los alimentos, no inocuos, también pueden producir enfermedades. Vea las diferencias del concepto entre inocuo, sano y saludable.

Sano: "Significa que goza de perfecta salud". La segunda acepción, de la lengua española, lo define como "seguro sin riesgo", inocuo. La tercera acepción lo define como "que es bueno para la salud" y de allí la posible confusión como que todo alimento debería ser saludable. La cuarta acepción describe que es "sin daño o corrupción, tratándose de vegetales o de cosas pertenecientes a ellos". Esta definición podría generalizarse para su aplicación a todos los alimentos para dar la idea de que son íntegros sin daño. Es aconsejable, para evitar confusiones, utilizar la última acepción como la más apropiada para asegurar una correcta interpretación de su significado, desechando, un tanto arbitrariamente, su posible sinónimo de inocuo o saludable.

5.3 Marco teórico:

El amaranto, que en náhuatl se llamaba huauhtli, también conocido como —alegríall en Oaxaca, México, refiriéndose a *Amaranthus Sp.*, fue junto con el maíz, el frijol y la calabaza uno de los principales cultivos alimenticios de los mayas y aztecas. Por referencias históricas se conoce que la población consumía la hoja verde del amaranto como hortaliza y con sus granos preparaba atole, tamales, pan, tortillas y dulces. El amaranto era de gran importancia por la relación que guardaba con los ritos religiosos, que los conquistadores consideraron prácticas paganas peligrosas. (Granados, 1990; citado por López, 2007, p.19).

El cultivo fue prohibido y literalmente desapareció, reduciéndose a lugares marginales y subsistió sólo gracias a su conservación, como estrategia alimentaria de ciertas poblaciones indígenas. (Granados, 1990; citado por López, 2007, p.19).

El amaranto conjuntamente con la quínoa, fueron calificados como los mejores alimentos de origen vegetal para el consumo humano en un estudio realizado en 1975 por la

Academia de Ciencias de Estados Unidos y seleccionados por la NASA para integrar la dieta de los astronautas en los vuelos espaciales de larga duración por su extraordinario valor nutritivo, la quínoa y el amaranto, resurgen hoy como los cultivos más promisorios del siglo XXI. (Suquilanda, 2007, p.126).

El amaranto es una planta con alto valor biológico, cercano al 75% cuyo valor aproximadamente llega al 75%, próximo al equilibrio perfecto de aminoácidos esenciales en comparación al valor biológico del maíz con 44, trigo 60, soya 68 y leche 74. (Iturbide, 1980; citado por Tello, 2003, p.16).

Recientes avances en el desarrollo de productos nutraceúticos a partir de alimentos o de sus aislados han marcado énfasis en la obtención de metabolitos secundarios como los polifenoles, que se asocian con propiedades anticancerígenas, antiinflamatorias y químico protectores, las cuales se atribuyen a su actividad antioxidante. La incorporación de fibra en productos alimenticios otorga características de nutraceútico debido a las propiedades fisiológicas de la fibra dietética aunadas a las propiedades de los polifenoles ligados a ella.

El amaranto (*Amaranthus* spp.) es una dicotiledónea que tuvo enorme importancia en la dieta de la América precolombina. Los granos presentan un contenido de proteína, grasas y fibra superior al de cereales convencionales, la calidad de su proteína es comparable al de la soya y la levadura, presenta un alto contenido de lisina y aminoácidos azufrados, lo que permite su uso para complementar dietas con cereales y leguminosas obteniendo una calidad proteínica similar a la de origen animal. Debido a la estructura y morfología del grano de amaranto es posible la separación de sus partes obteniendo fracciones con diferentes propiedades nutritivas.

La National Academy of Science reconoció que el amaranto puede representar un recurso agrícola potencialmente explotable, particularmente para países emergentes y que es necesario el trabajo de investigación y desarrollo de alimentos para saber la funcionalidad de los concentrados de proteína a partir del grano, el tiempo de caducidad y los efectos del proceso sobre la funcionalidad y calidad nutricional del amaranto. El principal desafío es incorporar al amaranto en formulaciones existentes de alimentos para modificar su calidad funcional y nutrimental, así como crear nuevos productos del grano y del vegetal del amaranto.

Su contenido nutrimental, su alta tolerancia a condiciones áridas donde los cereales no pueden crecer fácilmente, y por su potencial como una nueva fuente de alimento para el mundo, el amaranto ha sido motivo de investigaciones tanto de la calidad de la proteína, la caracterización de los aceites, el estudio de los almidones de su harina, y los nuevos productos alimenticios en los que se puede incluir. Sin embargo no existe un estudio completo de su Fibra Dietética y la actividad antioxidante, el cual es un aspecto muy importante que debe conocerse y tiene que considerarse si se quiere incluir como aditivo en productos alimenticios industrializados o si se quiere usar como un alimento funcional. EL amaranto es una de esas plantas que pueden ser consumidas como vegetales mientras que las semillas son usadas como cereales. Varias especies de amaranto han sido cultivadas tanto en América como en Europa desde tiempos antiguos como plantas ornamentales, plantas secas, hierbas o cereales. Actualmente el rendimiento para la semilla es de 3 toneladas/hectárea en un monocultivo por 3-4 meses, y un rendimiento para los vegetales de 4.5 toneladas/hectárea (materia seca) después de 4 semanas (Teutonico y Knorr, 1985).

6. Metodología:

El método de investigación científica es el conjunto de reglas y procedimientos que orientan el proceso para llevar a cabo una investigación. En cuanto a sus reglas y procedimientos generales, el método de investigación científica es común a todas las ciencias y responde a las siguientes características: Es racional, sistemático, exacto, verificable y aunque busca conscientemente la verdad se reconoce falible. La clasificación del método científico se convierte en la metodología de la investigación que define las características de la misma.

Por lo tanto, el método que estoy realizando es, inductivo, sintético;

Método inductivo.

Es el razonamiento por el cual se logra el conocimiento que va de lo particular a lo general.

Método Sintético.

Es un proceso de razonamiento que vuelve a reconstruir un todo, a partir de los elementos distinguidos en el análisis.

La síntesis significa reconstruir, volver a integrar las partes del todo, que ya habían sido desintegradas en el método analítico.

El tipo de investigación es documental

Investigación documental

Teórica-dogmática, depende fundamentalmente de la información recogida o consultada en documentos o cualquier material impreso susceptible de ser procesado, analizado e interpretado.

Con un enfoque será cualitativo;

Método cualitativo. Busca descubrir o generar teorías. Pone énfasis en la profundidad y sus análisis no necesariamente son traducidos a términos matemáticos. Defiende el uso de métodos cualitativos con el de técnicas de comprensión personal, de sentido común

y de introspección perite conocer las características y cualidades del objeto de investigación.

Usando como técnica de investigación a la encuesta;

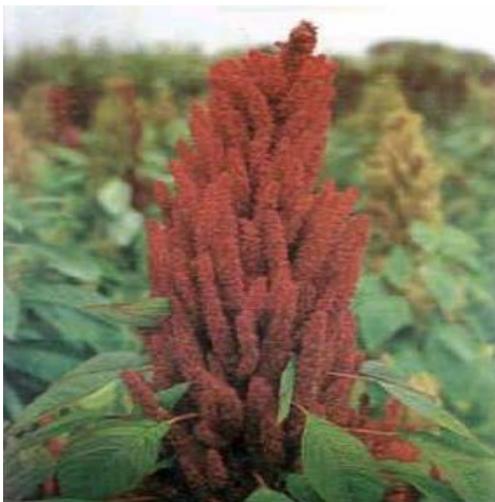
Encuesta: Es un instrumento de interrogatorio, aplicada a una muestra representativa. Consta de preguntas cerradas, breves y concisas. Las preguntas tienen únicamente la posibilidad de una sola respuesta o en algunos casos, dos.

2.1 EL AMARANTO

2.1.1 GENERALIDADES

La familia Amaranthaceae comprende más de 60 géneros y alrededor de 800 especies. Son plantas herbáceas de 1.5 a 2m de altura, tallo ramificado desde la base, hojas largamente pecioladas y ovadas que miden aproximadamente 15cm de largo y 10cm de ancho, contienen numerosas flores rojas o púrpura de 4 a 5mm. El fruto es una cápsula pequeña que se abre transversalmente y contiene una sola semilla blanca, lisa y brillante, ligeramente aplanada y del tamaño de un grano de mostaza que posee notables propiedades nutricionales.

El amaranto es una de esas plantas que pueden ser consumidas como vegetales Mientras que las semillas son usadas como cereales. Varias especies de amaranto han sido cultivadas tanto en América como en Europa desde tiempos antiguos como plantas ornamentales, plantas secas, hierbas o cereales. Actualmente el rendimiento para la semilla es de 3 toneladas/hectárea en un monocultivo por 3-4 meses, y un rendimiento para los vegetales de 4.5 toneladas/hectárea (materia seca) después de 4 semanas (*Teutonico y Knorr, 1985*).



2.1.2 HISTORIA DEL AMARANTO

Las evidencias arqueológicas muestran que las hojas y semillas del amaranto fueron utilizadas por los habitantes de América antes de que se diera el proceso de domesticación de esas plantas, que fue paralelo al del maíz de 5200 a 3400 A. C. El amaranto fue introducido y cultivado en muchas partes del mundo, por ejemplo, en el sur de Estados Unidos; en Argentina, a través de los Andes; en Guatemala; India, en el sureste de Asia y en el este de África.

El amaranto es una dicotiledónea que tuvo enorme importancia en la alimentación de la América precolombina, junto al frijol, la chía y el maíz, eran cultivos de suma importancia en las culturas de México. Debido a que el Amaranto estaba muy relacionado con rituales religiosos Hernán Cortés ordenó su destrucción castigando con la muerte a cualquiera que la cultivara; así la producción de amaranto fue decayendo. Hoy en día su alto contenido nutricional, su alto rendimiento y resistencia, dado que la mayor parte de cultivos en México son de temporal, hacen del amaranto una opción viable de cultivo en México con énfasis en zonas de temporal muy variables y de baja o nula tecnología moderna. En la actualidad su cultivo está reducido a pequeñas zonas, de las cuales las principales se encuentran en Puebla, Tlaxcala, Distrito Federal, Estado de México y Morelos.

2.1.3 COMPOSICION DEL GRANO DEL AMARANTO.

El grano pequeño, aproximadamente de 1 mm de diámetro, posee notables propiedades nutricionales. Comparando las composiciones de granos convencionales, pues se observa que los niveles de proteína, grasa, fibra y cenizas son más altos en el amaranto, mientras que la humedad y carbohidratos totales son más bajos. El alto potencial del amaranto como fuente alimenticia se basa en su alto contenido de proteína, además esa proteína está compuesta por un buen balance de aminoácidos esenciales, debido a lo interesante de la composición de la proteína, varios investigadores han estudiado el contenido de fracciones proteínicas. El amaranto contiene altos niveles de lisina, sin embargo la leucina es invariablemente el principal aminoácido limitante (Saunders et

al.1984). El contenido de lípidos oscila entre el 3.1 y 6.5%, para *A. hypochondriacus* (Sánchez-Moreno et al., 1980), el aceite de amaranto contiene una cantidad considerable de ácido linoleico, oleico, palmítico, unas trazas de linolénico y otros ácidos grasos, en total alrededor del 76 % del aceite es altamente insaturado.

Tabla 1. Análisis proximal de harinas integrales en diferentes cereales

Componentes %	Amaranto	Triticale	Cebada Desnuda	Maíz	Trigo	Arroz integral	Arroz blanco
Humedad	10.0	11.0	11.0	11.72	10.10	12	15.5
Cenizas	2.50	2.06	2.07	1.56	1.05	1.2	0.6
Proteínas	15.74	12.46	14.19	8.51	12.00	7.5	6.2
Grasa	7.03	1.46	4.18	5.51	1.80	1.9	0.8
Fibra cruda	4.94	2.38	2.18	1.75	1.20	0.9	0.3
Carbohidratos	60.82	70.6	66.37	70.95	76.60	77.4	76.9

Referencia: Sánchez-Moreno, et al 1980

Un trabajo reciente (Sandoval, 2005) reporta que el aceite del grano de amaranto contiene grandes cantidades de escualeno (entre el 5.5 y 5.6% del total) producto altamente demandado por la industria farmacéutica ya que se ocupa en la manufactura de cosméticos de calidad. Además la cantidad de almidón varía entre 58 y 66%, con una baja temperatura de gelificación, contiene un 9 a 16% de fibra, que es más fina y blanda que la del trigo y posee un 2.7-5 % de cenizas y la humedad varía desde un 8 hasta 10% (Tosi, et al., 2000).

Las altas concentraciones de calcio, fósforo, hierro, potasio, zinc, vitamina E y del complejo vitamínico B, así como las bajas concentraciones de factores antinutricionales, hacen de este grano un producto de interés en la elaboración de nuevos alimentos.

2.1.4 USOS DEL AMARANTO

El empleo del grano de amaranto en productos alimenticios es diverso; se consume reventando térmicamente en forma de rosetas o palomitas, formando parte de alguna golosina o para preparar atoles. Las harinas provenientes de la molienda del grano entero o reventado se utilizan para fabricar productos de panificación. Teutonico y Knorr (1985) Emplearon la harina en la producción de galletas y pan, reemplazando hasta un 20% de la harina de trigo de la formulación original (Tosi et al., 2000), Sánchez-Marroquín y sus colaboradores (1987) usaron la harina de amaranto como suplemento en la harina de maíz para hacer tortillas y Huerta (2004) utilizó un concentrado proteínico de amaranto con harina de trigo y maíz en el desarrollo de formulaciones para elaborar botanas. En este último trabajo se lograron incrementos de proteína del 75% cuando se mezcla con harina de trigo y 42% cuando se usó harina de maíz, además de que la sustitución no afectó las propiedades funcionales que caracterizan al producto.

También se ha usado harina integral de amaranto en la fabricación de galletas para regímenes especiales, particularmente en la enfermedad celiaca, que es una dolencia intestinal debida a la susceptibilidad al gluten y como consecuencia del daño producido por esta enfermedad en las microvellosidades intestinales, se reduce la absorción de sustancias alimenticias. Este efecto, de largo alcance, puede llevar a la carencia de calcio y vitamina D, sumadas a la sintomatología general que se manifiesta con diarreas y dolores gastrointestinales. Las galletas obtenidas se encontraron libres de gluten y el contenido de proteína fue superior al que se encuentra en las tradicionales galletas para celíacos (Tosi et al., 1996).

A partir del grano de amaranto se ha desarrollado una bebida de tipo lácteo que por sus características y bajo costo puede ser importante para paliar los problemas de desnutrición. Esta bebida podría competir con la leche de soya, además de su solubilidad y sus propiedades funcionales pueden elaborarse en polvo. (Tosi et al., 2000)

La composición, las propiedades, su historia, las presentes y futuras aplicaciones del amaranto demuestran el potencial alimenticio de este grano que no es ampliamente

aprovechado en México. Sin embargo, existen problemas en la comercialización del amaranto, principalmente porque es cultivado, cosechado y consumido por las prácticas tradicionales, además de que se tienen pocos datos experimentales relacionados con pruebas de alimentación en los humanos. Con respecto a la siembra de este grano es necesario estudiar con más detalle los requerimientos nutrimentales específicos para la planta del amaranto, los efectos de los fertilizantes sobre su rendimiento, la composición de la planta en diferentes etapas de la cosecha, la selección de aquellas variedades que son más tolerantes al estrés y más productivas en climas templados. En el área de alimentos procesados es necesario el trabajo de desarrollo e investigación sobre la funcionalidad del grano de amaranto y los concentrados de proteína, así como los efectos de diversos procesos sobre la funcionalidad y la calidad nutricional de éstos (Teutonic y Knorr, 1985).

2.2 IMPORTANCIA DE LA FIBRA DIETÉTICA

El rol de la fibra dietética (FD) en la salud y en la nutrición ha estimulado una gran cantidad de investigaciones que han atraído la atención pública. Numerosos estudios atribuyen a la fibra propiedades diversas como la de ser un regulador intestinal, actuando como laxante, factor preventivo del cáncer de colon, adsorbente de ácidos biliares y retardador de la absorción intestinal, además de que favorece la disminución del colesterol y de la glucosa en sangre. (*Periago et al.*, 1993). El tema ha generado tal atención que una variedad de alimentos ricos en fibra están bien posicionados en los estantes de todos los supermercados. Los nutriólogos aún no tienen establecido exactamente cuanta fibra dietética se debe consumir.

El consumo de 20 a 40 g FD/día es considerado un intervalo seguro, el cual no tiende a causar algún efecto adverso en la mayoría de las personas. El Instituto de Cancerología de los E. U. A. sugirió en 1986 que las personas deberían consumir entre 25-30 gramos de FD por día y la relación entre las fracciones insoluble y soluble debe ser 3:1 (*Borderias et al.*, 2005), sin embargo otros autores reportan que la relación debe estar entre el 1.0-

2.3 para obtener los efectos fisiológicos asociados con ambas fracciones (*Grigelmo-Miguel et al.*, 1999). Parte de las razones de la falta de recomendaciones dietéticas establecidas para la ingesta de fibra, se relacionan a la larga historia de métodos pobres para el análisis de fibra, las cuales han limitado la habilidad de catalogar el verdadero contenido de Fibra Dietética Total (FDT) de los alimentos. Un vegetariano estricto puede consumir alrededor de 60g FD/día, lo cual puede ser potencialmente perjudicial, especialmente para los niños, mujeres embarazadas y personas ancianas, debido a la reducción en la disponibilidad de ciertos minerales, a menos que sean prescritos en suplementos alimenticios.

Los granos de cereales, legumbres, vegetales, y frutas son buenas fuentes de FD, generalmente los alimentos pueden dividirse en tres tipos de fuentes: fibra-total, fibraagotada y libre de fibra (*Dreher*, 1987).

Los alimentos fibra-total incluyen ingredientes que no han sido procesados como los vegetales y frutas frescos o procesados ligeramente tales como la harina integral de trigo y el arroz integral; los alimentos fibra-agotada pueden variar ampliamente dependiendo del grado de procesamiento, por ejemplo con el pan integral y el pan blanco, ambos pertenecen a este grupo la diferencia es que un producto contiene más cantidad de fibra; y las fuentes libres de fibra incluyen aquellos alimentos que han sido procesados y concentrados, como el azúcar o el aceite vegetal. La fibra dietética no es un derivado de fuentes animales (excepto por la quitina, obtenida de desperdicios procesados del cangrejo y camarón y considerada FD no convencional). El tipo y la cantidad de FD varían ampliamente entre los alimentos y pueden ser afectados significativamente por las condiciones de proceso. Cada componente tiene diferentes propiedades físicas y químicas las cuales pueden causar efectos fisiológicos variables.

Hoy en día, muchos consumidores están haciendo cambios en su dieta en respuesta a la información nutricional. Por ejemplo, la publicidad involucrada con la relación entre la dieta y la reducción del riesgo de padecer cáncer o la reducción de peso han incrementado las ventas de cereales para desayuno ricos en fibra. Muchos científicos y grupos gubernamentales están defendiendo el consumo de carbohidratos más complejos, los cuáles incluyen FD y tales recomendaciones son rápidamente reportadas en la prensa común, creando una mayor demanda de los alimentos ricos en fibra

existentes, así como el desarrollo de nuevos alimentos ricos en fibra con mejores características nutricionales y organolépticas.

2.2.1 Definición de Fibra Dietética

El interés acelerado en la investigación de la FD no ha aumentado sin problemas, como la controversial nomenclatura, la información incompleta o inconsistente sobre el contenido de fibra en los alimentos y metodologías analíticas no estandarizadas.

Mientras el significado del término “fibra dietética” está aún desarrollándose, una definición no oficial, lo establece como un grupo complejo de sustancias que provienen de plantas, las cuales son resistentes a las enzimas digestivas de los mamíferos. Esta definición se usa comúnmente, todavía no es claro si una sola y/o una simple definición es posible o deseable. Parte de la dificultad en la comprensión de la fibra dietética es que ésta consiste de muchos componentes que son parte de un sistema vegetal viviente y que está cambiando continuamente (*Dreher, 1987*).

El significado de fibra depende del campo del investigador. El término “fibra”, en un sentido estrictamente botánico, se refiere a la rigidez de los constituyentes fibrosos de las paredes celulares. Desde un punto de vista nutricional/médico la FD es resistente a la digestión, proporciona volumen a las heces, retiene agua, actúa como un sitio para intercambiar iones y unir moléculas orgánicas. Para los analistas químicos el término es usado para describir la fibra soluble e insoluble encontrada en los alimentos (*Dreher, 1987*).

La fibra dietética puede ser definida químicamente como “la suma de polisacáridos y lignina que no sean digeridos por enzimas secretadas por el tracto gastrointestinal humano” (*Thebaudin et al., 1997*). Sin embargo las bacterias intestinales pueden degradar parcialmente aquella fibra dietética que es resistente a las enzimas digestivas humanas, produciendo ácidos grasos volátiles y otras sustancias que pueden ser absorbidas por el intestino que influyen en la actividad funcional del colon y el recto.

2.2.2 Composición de la Fibra Dietética

La fibra dietética está formada por un número de compuestos químicos complejos y altamente variables, cada uno con arreglos estructurales únicos, los cuales imparten propiedades fisicoquímicas, funcionales y nutricionales específicas. Esos compuestos son dinámicos y sufren numerosos cambios durante el crecimiento y la maduración de la planta, así como durante el proceso y almacenamiento de los productos alimenticios.

En general, los *componentes convencionales* de la fibra dietética pueden ser divididos de acuerdo a las funciones en la planta en:

1. Polisacáridos estructurales. Están asociados con la pared celular, e incluyen celulosa y polisacáridos no celulósicos.

a. Celulosa. Es el componente más común encontrado en las paredes celulares de las plantas, por lo tanto es la sustancia orgánica más abundante en el mundo. La celulosa comprende un 20 a 50% de materia seca de muchos alimentos fibrosos como los vegetales y cereales. Es usualmente encontrado en combinación con hemicelulosa, lignina y pectina, formando una matriz

compleja. Es un polisacárido lineal de alto peso molecular, consiste de unidades de glucosa con uniones β -1, 4 y con un alto grado de polimerización.

b. Hemicelulosa. Consiste de una mezcla de polímeros de unidades de azúcar con cadenas laterales de galactosa, arabinosa, unidades de ácidos urónicos, usualmente metiladas. Algunos tipos de hemicelulosa incluyen, xilanos glucomananos y galactanos.

c. Amiloides. Constituidos de xiloglucanos, (componente de paredes celulares de dicotiledoneas). Este grupo de polisacáridos deriva su nombre de su reacción con yodo que se tiñe de azul. Tienen una cadena principal de β -1,4 glucosa y que está ligada a unidades de D-xilosa, D-galactosa y L-fucosa.

d. Sustancias pécticas. Consisten de ácidos pécticos, pectinas y ácidos pectínicos. Los ácidos pécticos hacen referencia a ácidos galacturónicos sin el grupo metilo, mientras que las pectinas tienen solo una porción de grupos ácido-metilados. La pectina es usualmente encontrada en la pared celular primaria y en las capas intercelulares de las plantas. El contenido de ésta es mayor en frutas que en hortalizas y cereales.

e. β -glucano. Contiene unidades no ramificadas de D-glucosa unidas con enlaces β -1,4 alternadas con uniones β -1,3. Comúnmente está presente en el endospermo y en la aleurona de los cereales. Se han encontrado altas concentraciones en avena y en cebada.

f. Carragenatos. Son obtenidos por la extracción con agua o soluciones alcalinas de paredes celulares de ciertos miembros de las clases *Rhodophyceae*. Hay algunos tipos de carragenatos compuestos de residuos de galactosa alternando enlaces 1,3 y 1,4 y unidos con iones sulfato. Son

solubles en agua a temperaturas elevadas y forman soluciones viscosas.

g. Alginatos. El ácido algínico es un coloide hidrofílico extraído de las paredes celulares de las algas cafées. Es descrito como un copolímero lineal de uniones β -1,4 con ácido D-manurónico y con ácido L-gulurónico.

2. No-polisacáridos estructurales. Los componentes no polisacáridos forman una proporción menor de la pared celular, pueden tener un impacto significativo en sus propiedades, y subsecuentemente en sus características funcionales y nutrimentales.

Su concentración tiende a incrementarse en las paredes celulares maduras. Son predominantemente lignina.

a. Lignina. Está asociada usualmente con las paredes celulares maduras y es encontrada comúnmente en grupos celulares con funciones especiales, como mecanismos de soporte, conducción de solutos y resistencia a la degradación microbiana. La lignina es amorfa con alto peso molecular, es un polímero aromático compuesto de residuos de fenilpropano los cuales forman un arreglo tipo matriz por la condensación de alcoholes fenólicos. Las fuentes

de fibra pueden variar ampliamente en su contenido de lignina, la madera puede contener hasta un 50% de lignina en su pared celular, mientras que la col tiene sólo 6%

3. Polisacáridos no estructurales. Incluyen gomas y mucílagos secretados por células.

Los mucílagos son una mezcla de polisacáridos complejos los cuales forman parte de la pared celular, y están asociados con el endospermo y las mezclas con almidón, usualmente son polisacáridos neutros, (p.e. goma guar, goma tragacanto, goma arábica etc.).

Las formas *no convencionales* de la fibra dietética deben ser revisadas. Pueden incluir compuestos fenólicos, glicoproteínas, minerales, compuestos de Maillard, almidones resistentes e ingredientes artificiales (p.e. povidona). Muchos investigadores creen que esas sustancias no deben ser considerados componentes de la fibra dietética porque es imposible extender el concepto para incluir todas las sustancias heterogéneas. Potencialmente pueden tener un impacto significativo sobre las propiedades funcionales y actividades fisiológicas. La suma de formas convencionales y no convencionales puede ser llamada “complejo de fibra dietética” (*Schneeman*, 1986).

2.2.3 Clasificación de la Fibra Dietética.

La FD puede clasificarse: 1) según su relación con la estructura de las paredes celulares. 2) según su naturaleza química (polisacáridos no relacionados con el almidón y polisacáridos no relacionados con la celulosa), y 3) según la solubilidad en el agua, siendo esta última la más importante desde el punto de vista de la nutrición humana.

La FD se clasifica en fibra dietética soluble y en fibra dietética insoluble en agua. En todos los alimentos la FD constituye una mezcla de fibras con distinta solubilidad y como consecuencia existe una necesidad por parte de los investigadores en definir los componentes de la fibra con el fin de poder llevar a cabo una prevención y tratamiento de determinadas enfermedades.

La **fibra dietética soluble (FDS)** incluye pectinas, gomas, mucílagos y ciertos tipos de hemicelulosas solubles. La fracción de la FDS es variable, existiendo altas proporciones en frutas, vegetales de hojas u hortalizas y en legumbres. La FDS se caracteriza porque gran parte de ella sufre un proceso de fermentación en el colon con producción de gases (hidrógeno, metano, dióxido de carbono) y ácidos grasos de cadena corta que son absorbidos y metabolizados, teniendo una relación estrecha con los procesos metabólicos del aparato digestivo, cuyos efectos fisiológicos se asocian generalmente con la disminución del colesterol en la sangre, con el control de la glucosa en sangre y por lo tanto de la diabetes.

La **fibra dietética insoluble (FDI)** incluye la celulosa, la lignina y algunas fracciones de hemicelulosa. Predomina en las hortalizas, verduras, leguminosas frescas y en los granos

de cereales. La FDI apenas sufre procesos fermentativos y tiene un efecto más marcado en la regulación intestinal, con reducción del tiempo del tránsito de los alimentos y aumento de la excreción (*Periago et al., 1993*).

2.2.4 Propiedades Tecnológicas y Fisiológicas de la Fibra Dietética.

La forma en la que es percibido un alimento en las grandes ciudades ha cambiado en los últimos 20 años, se ha recordado el principio de Hipócrates que dice “Deja al alimento ser tu medicina y a la medicina ser tu alimento” y continuando con la tradición de las culturas orientales de atribuirles propiedades terapéuticas y curativas a los alimentos. El resultado ha sido crear conciencia a la población de la necesidad del uso de dietas como significado de permanente salud. Esta tendencia ha traído el concepto de alimentos funcionales, en la cual el énfasis ha cambiado de la búsqueda para proveerse de alimentos seguros a la identificación de las potencialidades de alimentos como promotores tanto de la salud física como mental y a reducir el riesgo de padecer desórdenes coronarios. La noción de funcionalidad es quizá hoy en día el motor principal para desarrollar nuevos productos alimenticios.

La fibra como un ingrediente alimenticio puede considerarse como poseedor de dos clases de propiedades: (a) tecnológicas y (b) fisiológicas. Las propiedades varían ampliamente dependiendo del tipo de fibra *Propiedades tecnológicas*.

*Capacidad de unir agua (CUA): la más importante propiedad desde el punto de vista tecnológico, es la habilidad para unir agua. Las fibras solubles, tales como las pectinas y las gomas, poseen una CUA mayor que las fibras con alto contenido de celulosa, por ejemplo las cáscaras de cereales, unen varias veces su peso en agua; esta capacidad está relacionada con el largo y el grueso de la partícula de la fibra. Las fibras provenientes de las algas pueden unir hasta 20 veces su propio volumen en materia seca. El pH del medio generalmente influye en la CUA (*Borderías et al., 2005*).

* Capacidad para unir grasa (CUG): la capacidad de la fibra para unir grasa depende más de la porosidad de la fibra que de la afinidad molecular. Por esta razón, para prevenir la unión de altos niveles de grasa es aconsejable poner la fibra en agua, para que ésta llene

los poros y prevenga la entrada de grasa. Esto es útil para eliminar la absorción excesiva cuando las fibras son usadas en productos que se tendrán que freír (*Borderías et al., 2005*).

*Viscosidad: las fibras como la pectina, gomas, β -glucano y polisacáridos extraídos de las algas forman soluciones altamente viscosas. Las gomas derivadas de plantas son generalmente las sustancias más usadas como espesantes. La viscosidad de algunas fibras solubles e insolubles, tales como la inulina, es mínima (*Borderías et al., 2005*).

*Capacidad para formar geles: gel es el nombre dado a una asociación de unidades poliméricas para formar una red en las cuales el agua y otros solutos son incluidos. Muchas fibras solubles forman geles, por ejemplo, las carragenatos (iota y kapa), pectinas, etc. La capacidad para formar un gel y la característica de éste dependerán de un número de factores incluyendo la concentración, temperatura, presencia de ciertos iones y pH (*Borderías et al., 2005*).

*Capacidad quelante: muchos tipos de fibra poseen la capacidad para intercambiar cationes *in vitro*, eso significa que pueden unir minerales; uno de las posibles consecuencias de esto es que esos iones pueden estar impidiendo la activación de los radicales que oxidan a los lípidos. Se ha demostrado que algunas fibras poseen la capacidad de intercambiar iones con el cobre (*Borderías et al., 2005*).

* Capacidad Fermentativa: las fibras están listas para fermentar a diferentes puntos, dependiendo del tipo de fibra, así mientras la celulosa se fermenta poco, las pectinas son totalmente fermentadas (*Borderías et al., 2005*).

* Texturizante: el uso de fibras puede ayudar a la reestructuración de productos basados en pescado o en carne. En la mayoría de productos cárnicos y algunos productos de pescado, el uso de esas fibras puede ayudar a lograr la textura correcta si ésta se muele previamente. Ciertas fibras como la avena son usadas para reemplazar la grasa en algunos productos cárnicos (*Borderías et al., 2005*).

Otras propiedades son la modificación del sabor, el control de cristalización de azúcar, la modificación de la viscosidad y formación del gel, y la estabilización de productos congelados. Una característica importante es la habilidad de las fibras para prevenir la deformación o la reducción de los productos reestructurados durante el cocimiento.

Propiedades fisiológicas

*Reducción de colesterolemia: la fracción soluble de la fibra tiene un efecto hipocolesterolémico. Un número de mecanismos han sido propuestos para explicar el efecto: uno de ellos supone que se aumenta el contenido gastrointestinal interfiriendo con la formación de micelas y la absorción de los lípidos, y así puede prolongarse la presencia de lipoproteínas ricas en triglicéridos de origen intestinal en el plasma. Otro mecanismo posible es hacer que la excreción de ácidos biliares se incremente reduciendo el colesterol, ya que el aumento de la síntesis de esos ácidos exige la conversión de colesterol en éster. Otra explicación posible para la eliminación de colesterol es la producción de ácido propiónico y otros gases a través de la fermentación, la cual retarda la formación de colesterol (*Borderías et al., 2005*).

* Modificación de la respuesta glucémica: las fibras que incrementan la viscosidad, reducen la respuesta de insulina. El mecanismo más importante parece retardar el vaciado del tracto gástrico por el incremento en la liberación de colecistoquinina en respuesta a cantidades grandes en la ingesta de fibra. Otro mecanismo es impedir el contacto con el epitelio intestinal para la absorción de nutrientes debido al incremento de viscosidad (*Borderías et al., 2005*).

*Cambios en la función intestinal: El hecho de que la fibra pueda unir una gran cantidad de agua, la hace muy útil desde un punto de vista fisiológico, ya que aumenta el volumen del bolo alimenticio y retarda la absorción de nutrientes en el intestino. En el caso de la fibra soluble, su papel más importante es incrementar la viscosidad del bolo alimenticio, y así se reduce la velocidad en el tránsito y amplía el intervalo en la absorción intestinal. La FD modifica la función del intestino acortando el tiempo de tránsito, aumentando el volumen fecal y la frecuencia de evacuación, diluyendo los contenidos y sustratos que se fermentarán en el intestino. El tipo de fuente y la cantidad de fibra influye la función intestinal de diferentes maneras; en general, las fibras que son resistentes a la fermentación tales como las del trigo, incrementan el contenido del intestino, sin embargo fibras altamente fermentables generan una gran cantidad de microorganismos y también incrementan el contenido intestinal (*Borderías et al., 2005*).

*Reducción de la disponibilidad de nutrientes: Los resultados de experimentos *in vitro* han mostrado que algunas fibras pueden inhibir la actividad de enzimas pancreáticas, las encargadas de digerir a los carbohidratos, lípidos y proteínas, aunque todavía no se sabe como. Las fibras pueden interferir con la absorción de algunas vitaminas y la absorción de minerales tales como calcio, hierro, zinc y cobre. La reducción de minerales puede deberse a la presencia de ácido fítico y otros quelantes en la fibra. Existen varios tipos de fibra que poseen la habilidad

de retener ácidos biliares y fosfolípidos, provocando el aumento en la absorción de éstos. La capacidad para retardar la absorción de ácidos grasos e interferir con la absorción del colesterol, favorece la reducción de lípidos en el torrente sanguíneo, lo que podría ser muy útil en el tratamiento de la obesidad (*Borderías et al., 2005*)

parece retardar el vacío del tracto gástrico por el incremento en la liberación de colecistoquinina en respuesta a cantidades grandes en la ingesta de fibra. Otro mecanismo es impedir el contacto con la epitelio intestinal para la absorción de nutrientes debido al incremento de viscosidad (*Borderías et al., 2005*).

*Cambios en la función intestinal: El hecho de que la fibra pueda unir una gran cantidad de agua, la hace muy útil desde un punto de vista fisiológico, ya que aumenta el volumen del bolo alimenticio y retarda la absorción de nutrientes en el intestino. En el caso de la fibra soluble, su papel más importante es incrementar la viscosidad del bolo alimenticio, y así se reduce la velocidad en el tránsito y amplía el intervalo en la absorción intestinal. La FD modifica la función del intestino acortando el tiempo de tránsito, aumentando el volumen fecal y la frecuencia de evacuación, diluyendo los contenidos y sufriendo los sustratos que se fermentarán en el intestino. El tipo de fuente y la cantidad de fibra influye la función intestinal de diferentes maneras; en general, las fibras que son resistentes a la fermentación tales como las del trigo, incrementan el contenido del intestino, sin embargo fibras altamente fermentables generan una gran cantidad de microorganismos y también incrementan el contenido intestinal (*Borderías et al., 2005*).

*Reducción de la disponibilidad de nutrientes: Los resultados de experimentos *in vitro* han mostrado que algunas fibras pueden inhibir la actividad de enzimas pancreáticas, las encargadas de digerir a los carbohidratos, lípidos y proteínas, aunque todavía no se sabe como. Las fibras pueden interferir con la absorción de algunas vitaminas y la absorción

de minerales tales como calcio, hierro, zinc y cobre. La reducción de minerales puede deberse a la presencia de ácido fítico y otros quelantes en la fibra. Existen varios tipos de fibra que poseen la habilidad de retener ácidos biliares y fosfolípidos, provocando el aumento en la absorción de éstos. La capacidad para retardar la absorción de ácidos grasos e interferir con la absorción del colesterol, favorece la reducción de lípidos en el torrente sanguíneo, lo que podría ser muy útil en el tratamiento de la obesidad (*Borderías et al., 2005*).

2.2.5 Aplicaciones de la fibra dietética

Actualmente se está realizando un gran esfuerzo en el desarrollo de nuevos productos con altos contenidos de FD para tratar de elevar su ingesta en la dieta diaria. De forma general, estos productos presentan defectos sensoriales como el sabor, lo que limita la cantidad de fibra incorporada hasta alrededor del 10%, provocando la necesidad de consumirlos en cantidades relativamente grandes para lograr una función fisiológica particular. Larrauri y sus colaboradores (1995) elaboraron tabletas con fibra dietética en polvo obtenida a partir de cáscaras de piña. Idealmente las tabletas contienen un alto contenido de fibra dietética y pueden ser masticadas o tragadas varias veces al día, lo que permite una dosificación rápida, cómoda y exacta de este componente en el organismo humano, además de presentar mejor conservación debido a su menor superficie de contacto con los agentes externos y un menor volumen, facilitando su envasado y transportación.

Aparte de los usos clásicos de la FD en productos de panificación, surgen nuevas aplicaciones de la fibra en alimentos como el pescado o en productos reestructurados como el surimi. El hecho de adicionar fibra a tales productos, que en principio no la contienen puede verse inapropiado cuando uno sigue con una dieta balanceada (fruta, vegetales, legumbres, carne y pescado). Pero la verdad es que un gran número de niños consumen productos que contienen esencialmente proteínas y grasas, consumiendo muy esporádicamente alimentos que contengan fibra. Borderías y sus colaboradores (2005) usaron quitosana (su precursor es la quitina) en productos reestructurados y obtuvieron un producto alimenticio con mejor funcionalidad y un mayor beneficio nutricional. La fibra en cantidades grandes puede cambiar la consistencia, la textura, el comportamiento

reológico y las características sensoriales de los productos finales; en ciertos casos el uso de FD es limitado. La emergencia de novedosas fuentes de fibra y la mejora en su funcionalidad (todos los parámetros que hacen de un alimento aceptable para procesarlo y consumirlo) han ido ofreciendo nuevas oportunidades de su uso en la industria de alimentos. Aparte del propósito nutricional, la fibra puede ser usada para propósitos tecnológicos y económicos. Como agente tecnológico sus usos pueden abarcar desde agentes que proporcionen volumen o sustitutos para grasas (Guillon et al., 2000).

2.2.6 Funcionalidad de la fibra.

No toda la fibra puede ser incorporada de la misma manera (cantidades y formas) y no el mismo tipo de alimentos (bebidas, productos secos, aderezos, carnes, pastelitos y productos de panificación). Sus propiedades funcionales son factores determinantes de su uso. También dependen de la manera en la que el alimento es procesado, de la interacción de los elementos estructurales y el arreglo espacial entre ellos.

Las propiedades fisicoquímicas de la FD juegan un papel importante en su funcionalidad: dimensiones, porosidad del área de superficie, capacidad de hidratación, comportamiento reológico, capacidad de unir grasa. El color y el sabor son también de suma importancia. Por ejemplo, las gomas han sido usadas por años como espesantes o para impartir viscosidad a la fase acuosa en sistemas alimenticios, ellas proveen textura y cuerpo, también hacen más difícil dispersar o separar materiales, estabilizan suspensiones (sólidos dispersos en agua), emulsiones (aceite disperso en agua o agua dispersa en aceite) y espumas (gas disperso en líquido o sólido). También imparten estabilidad en productos congelados y control en la sinéresis. Generalmente son usadas en pequeñas cantidades.

La FD (sea soluble o insoluble) se usa como agente texturizante o para impartir volumen, esos efectos se deben a sus propiedades de hidratación. Las propiedades de la FD logran repercutir en efectos desagradables tales como el cambio en la textura y el sabor. Las fibras insolubles pueden resultar en una textura granular y en la degradación de las propiedades funcionales de un alimento. El tamaño de las partículas también influye para obtener esos efectos y debe ser adaptada a la aplicación (Guillon et al., 2000).

2.2.7 Efecto del procesamiento sobre la funcionalidad de la fibra.

Las propiedades fisiológicas de la fibra pueden ser manipuladas a través de tratamientos: químicos, enzimáticos, mecánicos (molienda), térmicos (extrusión) para mejorar su funcionalidad. La fuente de fibra, su historia y las condiciones de operación influyen en el tratamiento. En los tratamientos enzimáticos y químicos, si las sustancias químicas o las enzimas escogidas son las apropiadas, resultan en un incremento en la cantidad de fibra soluble con posible depolimerización de la fibra soluble a costa de la fibra insoluble. La fibra soluble depende de su peso molecular y su concentración puede contribuir al aumento de la viscosidad. La matriz de la fibra insoluble puede exhibir mejor hinchamiento probablemente debido a un incremento en su porosidad y baja o alta retención de agua dependiendo de la distribución del tamaño del poro. La energía mecánica puede tener un efecto profundo sobre los polisacáridos. La fuerza cortante puede depolimerizar a los polisacáridos solubles tales como β -glucanos. La molienda puede afectar las propiedades de hidratación, como resultado del incremento del área de superficie, las fibras se hidratan más rápidamente. El calentamiento generalmente provoca cambios en el intervalo de solubilidad. En particular grandes cantidades de pectinas, arabinosilanos y β -glucanos se encuentran en la fracción soluble porque son parcialmente degradadas por los tratamientos (Guillon et al., 2000).

2.2.8 Determinación de Fibra Dietética

La evolución en la metodología de la FD ha sido lenta, principalmente por la creencia en los valores no nutritivos de la Fibra. El desarrollo de la metodología no ha sido fácil debido a que la FD no es una entidad simple, es un complejo mixto de diferentes componentes. Los antiguos métodos, los cuales subestimaban el contenido de la FD han sido expuestos y los métodos oficiales han sido desarrollados dando un buen estimado de ésta.

Los primeros métodos para la estimación del contenido de la FD fueron desarrollados para el análisis de alimento para ganado y no para humanos. En la primera mitad de 1800, Einhof obtuvo un estimado por la extracción de alimento molido con agua caliente. Unos pocos años más tarde, se desarrolló un método de Fibra Cruda basado en la extracción secuencial de alimento por ácido y álcali. El método de la Fibra Cruda fue adaptado por la AOAC en el segundo periodo de 1800. Este método fue continuamente

usado para el análisis de fibra en alimento para humanos y animales hasta 1960 sólo por la falta de un método alternativo que diera resultados rápidos y reproducibles. Con el tiempo el método de la fibra cruda mostró que daba un conteo incompleto de la FD debido a la gran cantidad de hemicelulosa, lignina y algo de celulosa que era extraída con soluciones ácidas y alcalinas.

En la mitad de la década de los 70', la definición de FD evolucionó para reemplazar el término de Fibra cruda debido a la relación entre la FD y el desarrollo de ciertas enfermedades donde la medición de la fibra y sus componentes se volvió más crítica.

A pesar del gran progreso que se ha hecho para desarrollar métodos analíticos para la determinación de fibra dietética en alimentos, no ha sido desarrollado un método ideal, rápido, confiable y barato para el análisis de rutina. Actualmente los métodos más usados son el método enzimático gravimétrico de la Association of Official Analytical Chemist (AOAC) y el enzimático-químico de Englyst; el primero es el método recomendado en al menos diez países, incluido Estados Unidos. El segundo es el método oficial en el Reino Unido (Prosky et al., 1985).

El método oficial 985.29 de la AOAC (AOAC, 2000) está basado en la remoción enzimática de almidón y proteína, seguida de una precipitación de la FDS con etanol, que se seca y se pesa. Los valores obtenidos por el método enzimático se corrigen por el contenido de proteína y cenizas. Han sido propuestas nuevas modificaciones al método de la AOAC porque a pesar de ser el método oficial, se han reportado una serie de problemas asociados a la sobreestimación de FD en frutas, vegetales y algunos cereales ya que la cuantificación de la FDS no es precisa, debido a la precipitación incompleta de la fracción soluble y a la coprecipitación de componentes no fibrosos. Además los constituyentes de la FDI forman una matriz, la cual puede retener otras sustancias como las sales de los reactivos. Algunos de estos compuestos pueden ser constituyentes de la fracción soluble, los cuales pueden ser cuantificados como FDI y no como FDS. Este método no puede determinar las diferentes fracciones que componen la FD como son las fracciones soluble e insoluble, la Lignina de Klason (LK), tampoco puede identificar los polisacáridos que componen las fracciones soluble e insoluble.

Para obtener valores precisos del contenido de FD, el método enzimáticogravimétrico de la AOAC se lleva a cabo omitiendo la precipitación etanólica para evitar la pérdida de la FDS, como lo reporta Mañas (1994). Este método cuantifica la FD químicamente lo que hace más exacta la determinación y permite obtener información acerca de la composición de la fibra.

Los valores gravimétricos de FD en frutas generalmente son mayores que los valores obtenidos por el método de Mañas. Las mayores diferencias entre los resultados gravimétricos y los químicos se encuentran en las muestras de cítricos

CAPITULO III (MARCO TEORICO)

3.3 COMPUESTOS BIOACTIVOS ASOCIADOS A LA FIBRA DIETÉTICA

Los compuestos bioactivos son constituyentes extranutricionales que están presentes en pequeñas cantidades en los alimentos y están siendo estudiados intensamente para evaluar sus efectos en la salud, dando como resultado una mejoría en la condición de pacientes con enfermedades cardiovasculares y con cáncer sometidos a la ingesta de una dieta a base de plantas. Estos compuestos varían ampliamente en estructuras y funciones

(Kris-Etherton, et al., 2002).

3.3.1 Compuestos Fenólicos.

Los compuestos fenólicos son metabolitos secundarios (compuestos no esenciales para la supervivencia de la planta o de ciertas partes de ella) que se derivan de rutas metabólicas en plantas (pentosa fosfato y fenilpropanoide) (Balasundram et al., 2005), están presentes en todas las plantas y así en nuestra dieta. Existen más de 8000 estructuras que han sido identificadas y que varían de ser simples moléculas (p.e. ácido fenólico con un anillo aromático) a ser compuestos altamente polimerizados (p.e. taninos). A pesar de esta diversidad estructural, el grupo de compuestos son a menudo llamados como polifenoles.

Más de 10 clases de polifenoles han sido definidos sobre la estructura química básica. Están divididos dentro de los siguientes grupos principales:

* Ácidos fenólicos que son derivados hidroxilados del ácido benzoico (C6 – C1) y son bastante comunes tanto en estado libre como combinados como ésteres o glicósidos (ácido gálico).

* Ácidos fenólicos derivados del ácido cinámico (C6 – C3) (ácido cumárico, ferúlico y cafeíco), están ampliamente distribuidas y raramente presentes en estado libre y a menudo se encuentran esterificadas.

* Ésteres glicosídicos fenilpropanoides.

Los flavonoides son un grupo de derivados benzo- γ -pirano, se encuentran predominantemente en células vegetales, están presentes como agliconas, glicósidos y derivados metilados. Dependiendo del grado de oxidación del anillo pirano central, pueden estar subdivididos en varias clases de flavonoides y compuestos relacionados con flavonoides: flavonas, flavonoles, flavononas, isoflavonas, flavanos, flavanoles y antocianinas. El anillo pirano puede ser abierto (charcones) y reciclados dentro de un anillo furano (auronas) (Skerget et al., 2005).

Los fenoles principales en cereales y leguminosas son los flavonoides, los ácidos fenólicos y los taninos, también la fracción soluble de los cereales poseen β -glucano que está fuertemente asociada con la reducción del riesgo de padecer de enfermedades coronarias, ya que ayuda disminuir los niveles de colesterol (Kris-Etherton et al., 2002).

Aparte de las flavonas y los flavonoles, las antocianinas son los más abundantes y ampliamente distribuidos, en el amaranto se encuentran presentes en una gran proporción (Czerwiński et al., 2004) y a las cuales se les atribuyen algunos beneficios terapéuticos como propiedades antiinflamatorias, anticancerígenos, vaso-protectores y químicoprotectores (Awika et al., 2004).

Los compuestos fenólicos son especies altamente reactivas lo cual complica su extracción y su recuperación ha llegado a ser un poco problemática. La extracción es complicada por la distribución desigual de los fenoles. A nivel subcelular, los fenoles se encuentran principalmente en las vacuolas, en pequeñas cantidades. La presencia de

compuestos fenólicos en forma soluble, suspendida o coloidal y en combinación con componentes de la pared celular, puede tener un impacto significativo en su extracción (Robards et al., 1999).

3.3.2 Clasificación de interés nutricional: polifenoles solubles e insolubles.

La localización de los compuestos polifenólicos en la planta (libres en la fracción soluble de la célula o unidos a componentes de la pared celular), junto con su estructura química, permite diferenciar entre polifenoles solubles e insolubles. Esta clasificación es útil, desde un punto de vista nutricional, ya que el destino metabólico en el tracto gastrointestinal y los efectos fisiológicos de cada grupo van a depender en gran medida de sus características de solubilidad .

Los polifenoles solubles son aquellos compuestos de bajo e intermedio peso molecular, extraíbles por diferentes solventes. Este grupo incluye a los compuestos polifenólicos de bajo y medio peso molecular no unidos a componentes de membrana, tales como fenoles sencillos, flavonoides y taninos que cumplan esas condiciones. Los polifenoles insolubles o taninos condensados son aquellos polifenoles de alto

peso molecular, superior a los 5000 daltones, o compuestos unidos a fibra y proteína que no se solubilizan en los solventes utilizados habitualmente y que requieren de una hidrólisis ácida para ser extraídos. Este grupo está constituido, básicamente por los taninos condensados, que tienen un elevado peso molecular y por ácidos fenólicos y otros polifenoles de bajo peso molecular unidos a polisacáridos de la pared celular y a proteínas formando complejos estables insolubles.

Las características de solubilidad de los compuestos fenólicos son un factor importante en la biodisponibilidad, y en consecuencia, en los efectos fisiológicos de los mismos. Los polifenoles insolubles (taninos condensados o proantocianidinas) no se digieren y se pueden recuperar parcial o totalmente de forma cuantitativa en heces. Mientras que una parte de los polifenoles solubles, tales como flavonoides, isoflavonoides, etc., pueden llegar a atravesar la barrera intestinal y se pueden encontrar en sangre como tales o como metabolitos, siendo responsables de sus efectos fisiológicos (Sánchez-Moreno, 2002).

1.3.3 Compuestos fenólicos como antioxidantes.

La peroxidación lipídica juega un papel importante en el deterioro de alimentos durante su almacenamiento. Los lípidos y las sustancias que pueden ser susceptibles a la oxidación están presentes en casi todos ellos. El problema del daño oxidativo es un aspecto importante para la preservación de alimentos, especialmente cuando propicia el desarrollo de sabores y olores desagradables. Es vital para la industria alimentaria resolver este problema.

Los radicales libres atacan los ácidos grasos insaturados en la biomembrana, resultando en la oxidación lipídica de la membrana, en un decremento de la fluidez, y en daño a las proteínas membranales lo que lleva a la inactivación celular. El daño celular debido a la oxidación lipídica está fuertemente asociada con el envejecimiento, carcinogénesis y otras enfermedades. Está reportado que el malonaldehído (MDA) toma parte en las reacciones con DNA y proteínas causando mutaciones que conducen al cáncer y puede ser un catalizador en la formación de N-nitrosaminas en alimentos que contienen aminos secundarias y nitritos (Duh et al., 1999). Los polifenoles insolubles o taninos condensados son aquellos polifenoles de alto peso molecular, superior a los 5000 daltones, o compuestos unidos a fibra y proteína que no se solubilizan en los solventes utilizados habitualmente y que requieren de una hidrólisis ácida para ser extraídos. Este grupo está constituido, básicamente por los taninos condensados, que tienen un elevado peso molecular y por ácidos fenólicos y otros polifenoles de bajo peso molecular unidos a polisacáridos de la pared celular y a proteínas formando complejos estables insolubles.

Las características de solubilidad de los compuestos fenólicos son un factor importante en la biodisponibilidad, y en consecuencia, en los efectos fisiológicos de los mismos. Los polifenoles insolubles (taninos condensados o proantocianidinas) no se digieren y se pueden recuperar parcial o totalmente de forma cuantitativa en heces. Mientras que una parte de los polifenoles solubles, tales como flavonoides, isoflavonoides, etc., pueden llegar a atravesar la barrera intestinal y se pueden encontrar en sangre como tales o como metabolitos, siendo responsables de sus efectos fisiológicos (Sánchez-Moreno, 2002).

3.3.3 Compuestos fenólicos como antioxidantes.

La peroxidación lipídica juega un papel importante en el deterioro de alimentos durante su almacenamiento. Los lípidos y las sustancias que pueden ser susceptibles a la

oxidación están presentes en casi todos ellos. El problema del daño oxidativo es un aspecto importante para la preservación de alimentos, especialmente cuando propicia el desarrollo de sabores y olores desagradables. Es vital para la industria alimentaria resolver este problema.

Los radicales libres atacan los ácidos grasos insaturados en la biomembrana, resultando en la oxidación lipídica de la membrana, en un decremento de la fluidez, y en daño a las proteínas membranales lo que lleva a la inactivación celular. El daño celular debido a la oxidación lipídica está fuertemente asociada con el envejecimiento, carcinogénesis y otras enfermedades. Está reportado que el malonaldehído (MDA) toma parte en las reacciones con DNA y proteínas causando mutaciones que conducen al cáncer y puede ser un catalizador en la formación de N-nitrosaminas en alimentos que contienen aminos secundarias y nitritos (Duh et al., 1999).

Para evitar el daño de radicales libres y especies reactivas de oxígeno es necesaria la adición de antioxidantes. Antioxidantes sintéticos tales como el hidroxianisol butilado (BHA) y el hidroxitolueno butilado (BHT) son adicionados comúnmente a los alimentos, sin embargo han mostrado efectos tóxicos y mutagénicos lo cual ha llevado a preferir el consumo de productos naturales sobre los compuestos sintéticos y a la eliminación de antioxidantes sintéticos en la aplicación de alimentos por parte de las industrias, motivando la búsqueda de alimentos que exhiban actividad antioxidante.

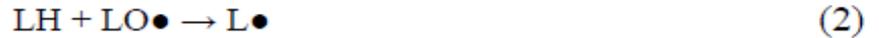
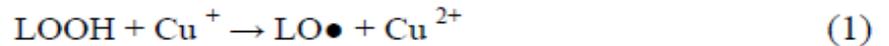
Varios estudios muestran que el amaranto es un pseudocereal que posee propiedades nutraceuticas relacionadas con antioxidantes y que pueden ayudar al cuerpo humano a reducir daños oxidativos. Así los antioxidantes se han convertido en el interés tanto de investigadores como de los profesionales de la salud, los flavonoides son el grupo de compuestos polifenólicos con más potente actividad antioxidante, Robards y sus colaboradores (1999) reportan que los radicales fenoxi de los flavonoides exhiben potenciales de reducción en el intervalo de 540-700mV, por lo que se espera que inactiven eficientemente varias especies reactivas de oxígeno con potenciales mayores (2000- 950mV).

3.3.4 Defensa antioxidante en alimentos y en sistemas biológicos.

El papel de los antioxidantes es importante en la prevención de la oxidación de los alimentos y de sistemas biológicos. Existe un gran número de mecanismos diferentes por los cuales los compuestos fenólicos pueden actuar como antioxidantes: vía secuestrador de radicales libres, interrumpiendo la fase de propagación de la oxidación lipídica; donador de hidrógenos; secuestrador del oxígeno singulete, lo que impide la iniciación de la reacción por los radicales libres; quelantes de iones metálicos o como sustratos para el ataque de superóxidos (Sánchez-Moreno, 2002).

La oxidación de los ácidos grasos poli-insaturados es muy compleja en sistemas biológicos, las principales rutas son mostradas en el esquema 1 [ecuaciones (1)-(8)]. Los ácidos grasos poli-insaturados (LH) forman radicales alquilo ($L\bullet$) en la presencia de un iniciador, generalmente compuesto de metales e hidroperóxidos [ecuaciones (1) y (2)]. Los radicales alquilo reaccionan rápidamente con oxígeno para producir radicales peroxilo($LOO\bullet$), y propagarse en una reacción en cadena [ecuaciones (3) y (4)]. Los hidroperóxidos se descomponen en presencia de metales para producir radicales alcohoxi ($LO\bullet$) los cuales se parten en una compleja mezcla de aldehídos [ecuación (5)]. Los aldehídos son los principales responsables del daño causado a los tejidos biológicos y en lipoproteínas de baja densidad (LDL), esos aldehídos reaccionan con las proteínas.

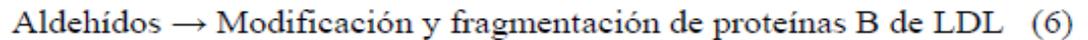
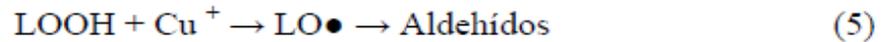
Iniciación:



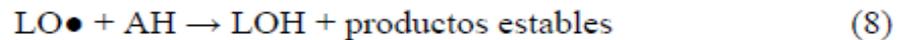
Propagación:



Descomposición de hidroperóxidos:



Peroxidación inhibida:



ESQUEMA 1

En la presencia de antioxidantes (AH), la peroxidación lipídica es retardada o inhibida por la demora en el estado de propagación del ciclo de autooxidación [ecuaciones (3) y (4), esquema 1]. Varias clases de antioxidantes pueden interrumpir la formación de radicales libres reaccionando con (1) radicales peroxilo [ecuación (7)] para inhibir la formación de hidroperóxidos y (2) de radicales alcohoxi [(ecuación (8))] para inhibir la formación de aldehídos (Frankel, 1999).

Para que un antioxidante sea considerado como eficiente, el radical fenoxi formado en las reacciones anteriores no debe iniciar la formación de radicales posteriores y debe ser una especie relativamente estable ya sea por deslocalización y por la ausencia de sitios apropiados para el ataque de una molécula de oxígeno (Robards et al., 1999).

3.3.5 Relación estructura-actividad antioxidante de fenoles.

La actividad química de los polifenoles en términos de sus propiedades reductoras como agentes donantes de electrones o hidrógenos predice su potencial para actuar como

secuestrador de radicales libres (antioxidantes). La actividad de un antioxidante está determinada por:

* Su reactividad como un agente donador de electrones o hidrógenos (lo cual se relaciona con su potencial reductor)

* El destino del derivado de la reacción del radical con el antioxidante el cual está dirigido por su habilidad para estabilizar y deslocalizar al electrón impar.

* Su reactividad con otros antioxidantes. □ La transición metal-quelante. Los polifenoles poseen una estructura química ideal para ser secuestradores de radicales libres, y han demostrado ser antioxidantes más efectivos (in vitro) que las vitaminas E y C. Esto se ejemplifica por estudios en donde se usó radiólisis para la investigación de las interacciones en el radical hidroxilo ($\cdot\text{OH}$), el radical azida (N_3), el anión superóxido ($\text{O}_2^{\cdot-}$), y el radical peróxido lipídico (LOO^{\cdot}) con polifenoles, el intervalo de constantes de reacción y la estabilidad del radical antioxidante.

Los arreglos estructurales determinados por estos estudios imparten la máxima actividad antioxidante en varios compuestos:

* El orto 3'4'-dihidroxi en el anillo B (p.e. en la catequina, luteolina y quercetina).

* En los arreglos del meta 5,7-dihidroxi en el anillo A (p.e. en el kaemferol, asparagina).

* El doble enlace 2,3 en combinación con el grupo 4-ceto y el grupo 3-

hidroxilo en el anillo C, por deslocalización electrónica (p.e. en la quercetina), mientras la estructura orto dihidroxi en el anillo B de la molécula también está presente. Sin embargo, las alteraciones en los arreglos de los grupos hidroxilo y la sustitución de la contribución de los grupos hidroxilo por la glicosilación decrece la actividad antioxidante.

La eficiencia de los compuestos fenólicos como antioxidantes depende, en gran parte, de su estructura química. El fenol por sí mismo es inactivo como antioxidante, sin embargo, los compuestos orto- y para-difenólicos poseen actividad antioxidante, la cual incrementa con la sustitución de sus átomos de hidrógeno por grupos etil o n-butil. La actividad antioxidante de los ácidos fenólicos y sus ésteres depende del número de grupos hidroxilo en la molécula. La propiedad de captar electrones del grupo carboxilato en los ácidos

benzoicos tiene una influencia negativa en la capacidad de donación de H de los hidroxibenzoatos. De forma general, los ácidos cinámicos hidroxilados son más efectivos que sus ácidos benzoicos homólogos. La mitad del potencial de reducción ha sido descrito como un parámetro apropiado para la representación de la actividad secuestradora de los flavonoides. Esto fue razonado con base en que la oxidación electroquímica y la donación de hidrógenos libres de radicales, implica el rompimiento del mismo enlace fenólico entre el oxígeno y el hidrógeno, produciendo el radical fenoxi y el H*, el cual consiste de un electrón y un ión H+. Así un flavonoide con un valor bajo para la mitad del potencial de reducción (p. e. menor a 0.2 mV es un buen secuestrador). Es interesante notar que los polifenoles con la mayor actividad secuestrante incluyen aquellos con la estructura orto dihidroxi en el anillo B. Esto ha sido reportado para flavonoides con valores de la mitad del potencial de reducción menores a 0.06mV que sufren los ciclos redox bajo condiciones fisiológicas y así estar disponibles para reducir la transición de metales (Rice-Evans et al., 1997).

3.3.6 Determinación de la Actividad Antioxidante

Con el actual interés en la eficacia y función de antioxidantes naturales en alimentos y en sistemas biológicos, los métodos para medir la actividad antioxidante han recibido mucha atención. Varios métodos rápidos han sido publicados y muchos protocolos in vitro son usados actualmente para evaluar antioxidantes de interés en alimentos y en la nutrición. Sin embargo, la actividad de los antioxidantes en alimentos y en sistemas biológicos es dependiente de una multitud de factores, incluyendo las propiedades coloidales de los sustratos, las condiciones, y el estado de oxidación y la localización de antioxidantes en diferentes fases. Cuando se prueba la actividad antioxidante in vitro, es muy importante considerar la composición del sistema, el tipo de sustrato oxidable, el modo de acelerar la oxidación, los métodos para medir la oxidación y como vamos a cuantificar la actividad antioxidante.

La efectividad del antioxidante es también determinada por el sistema, dependiendo si es acuoso, lipídico o heterofásico, del tipo de sustrato lipídico (triacilgliceroles, metilesteres, ácidos grasos libres) incluyendo su estado fisicoquímico, el grado de instauración y el tipo de iniciadores. Por esta razón la actividad antioxidante no puede ser determinada por

un solo método. Cada evaluación debe ser llevada bajo varias condiciones de oxidación, usando diferentes métodos para medir los diferentes productos de oxidación. Porque la mayoría de los antioxidantes naturales son multifuncionales, un protocolo confiable requiere la medición de más de una propiedad relevante para alimentos o sistemas biológicos (Frankel et al., 2000).

3.3.6.1. Métodos para determinar la capacidad antioxidante

Se han desarrollado diversos protocolos para medir la capacidad secuestrante de los antioxidantes usando una amplia variedad de sistemas generadores de radicales y métodos para observar el punto final de la oxidación. En algunos los reactivos se mezclan y el punto final de la oxidación se mide después de un tiempo determinado, mientras que en otros la reacción es monitoreada. Sin embargo, esto ha llegado a incrementar la dificultad para comparar e interpretar la actividad antioxidante de diferentes compuestos, en especial si se determina la actividad antioxidante de extractos, aunque debe decirse que la actividad también depende del modo de extracción (Madhavi, 1996). Las características de varios métodos comúnmente usados se describen enseguida.

Método del radical DPPH: El radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH) fue uno de los primeros radicales sintéticos en usarse para estudiar los efectos estructurales sobre la actividad de los antioxidantes fenólicos. Funciona como oxidante el cual debe ser reducido por el antioxidante (AH), llevándose a cabo la siguiente reacción:



La desaparición del radical DPPH por la acción de los antioxidantes es medida espectrofotométricamente a una longitud de onda de 515 nm, en una solución metanólica, hasta que la absorbancia permanece constante, el tiempo de prueba puede variar de 10 a 20 min o hasta 6 h. El método es empleado para medir la “eficiencia antirradical” de polifenoles como el ácido cafeico y en diferentes vinos y jugos de uva. Las pendientes de la absorbancia en función del tiempo requerido para alcanzar su estabilidad, varían significativamente con los diferentes tipos de antioxidantes y con sus concentraciones. Este método es limitado porque el radical sólo puede ser disuelto en medio orgánico y porque los radicales DPPH interactúan con otros radicales (alquilo), además el tiempo de

respuesta de la curva para alcanzar la estabilidad no es lineal en diferentes proporciones de antioxidante y DPPH, sin embargo presenta algunas ventajas, por ejemplo; es un radical libre que no requiere de ser preparado con reacciones químicas o enzimáticas, además es un radical cromógeno muy estable y presenta un pico de absorbancia máxima a 515 nm en medio metanólico (Frankel et al., 2000).

Método del radical ABTS: Es un método de decoloración para medir la actividad antioxidante usando el sistema enzimático ABTS/H₂O₂/Peroxidasa y midiendo la pérdida de la absorbancia. El radical ABTS+• es pre-generado por medio de reacciones químicas (dióxido de manganeso, persulfato de potasio) o enzimáticas (peroxidasa, mioglobina) y el antioxidante o muestra a analizar es adicionado al medio de reacción. El resultado es la desaparición del radical ABTS+•, la cual es medida por el decremento en la absorbancia (para evitar interferencias se selecciona una longitud de onda entre 400 a 750 nm). Este

método presenta numerosas ventajas: es fácil y rápido y no se requiere altas temperaturas para generar los radicales y la actividad antioxidante puede ser estudiada sobre un amplio intervalo de valores de pH (Arnao, et al., 2001).

Inhibición de la oxidación lipídica: La peroxidación lipídica implica la generación de radicales libres, de manera que para medir la actividad antioxidante es necesario propiciar la producción de radicales libres y determinar el grado de inhibición de la oxidación por la adición de antioxidantes. La literatura describe métodos para determinar el comportamiento de los antioxidantes enfocados sobre la actividad en alimentos o la bioactividad en humanos. En el caso de los sistemas alimenticios, la necesidad es determinar la eficacia de un antioxidante para proteger a los alimentos del daño oxidativo. La efectividad de los antioxidantes se mide monitoreando la inhibición de la oxidación de un sustrato, después de que es oxidado bajo condiciones estándar, los productos de la oxidación son medidos por métodos químicos o instrumentales. Los hidroperóxidos, son determinados por iodometría o por colorimetría con tiocianato férrico y el resultado se expresa como el índice de peróxidos (IP), los carbonilos totales se miden después de la reacción con 2,4-dinitrofenilhidrazina, mientras que el malonaldehído, es determinado

espectrofotométricamente a 532 nm debido a la reacción con el ácido 2-tiobarbitúrico (TBA) (Robards et al., 1999).

β -caroteno: los carotenoides son conocidos por secuestrar y desactivar radicales libres in vivo e in vitro. Especialmente el β -caroteno es conocido por proteger membranas lipídicas aisladas, lípidos provenientes del hígado, lipoproteínas de baja densidad contenidas en lípidos, aunque teóricamente todos los carotenoides con un doble enlace conjugado deben actuar similarmente. A diferencia de los antioxidantes que actúan previniendo la formación del radical libre y consecuentemente la iniciación de la oxidación lipídica, la molécula de β - caroteno interviene en la reacción de oxidación secuestrando al radical libre e impidiendo la formación de radicales en cadena, este efecto se le atribuye a los dobles enlaces conjugados que tiene la molécula y que son muy susceptibles al ataque por radicales peroxilo. Taga (Robards et al., 1999) describe un procedimiento para determinar la actividad antioxidante en el cual se prepara una emulsión acuosa de los polifenoles extraídos, el caroteno y el ácido linoleico. La destrucción oxidativa del caroteno por los productos de degradación del ácido linoleico en el sistema es medida espectrofotométricamente a 470 nm.

Liposomas: El método de Liposomas es usado a menudo como modelo para estudiar la actividad antioxidante in vitro porque los liposomas pueden estar relacionados con la estructura laminar de las membranas encontradas in vivo. Para investigar el comportamiento del antioxidante en sistemas biológicos se emplea lecitina de soya preparada como liposoma. El efecto inhibitorio del extracto se determina espectrofotométricamente a 532 nm, cuantificando la formación de productos secundarios de la oxidación del liposoma.