
**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS



**DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL ANTIOXIDANTE EN DOCE
ESPECIES VEGETALES**

Por:

JUANA SAMPAYO HERNÁNDEZ

Tesis:

Presentada como requisito parcial para obtener el título

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Marzo del 2011

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

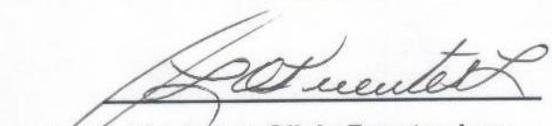
“Determinación del Potencial Antioxidante en Doce Especies Vegetales”

Por:
JUANA SAMPAYO HERNÁNDEZ

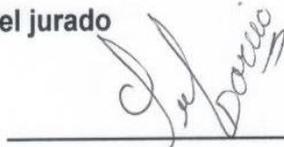
TESIS
Que se somete a consideración del H. Jurado Examinador
como requisito parcial para obtener el título de:

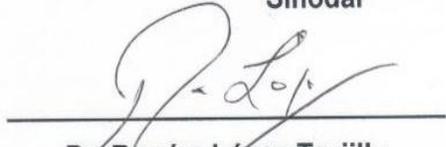
INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

APROBADA


Lic. Laura Olivia Fuentes Lara
Presidente del jurado


Dr. Adalberto Benavides Mendoza
Sinodal


Q.F.B. Ma. Del Carmen Julia García
Sinodal


Dr. Ramiro López Trujillo
Coordinador de la División de Ciencia Animal

Universidad Autónoma Agraria
“ANTONIO NARRO”



COORDINACION DE
CIENCIA ANIMAL

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Marzo de 2011

DEDICATORIAS

A mi Dios Padre, quien me prestó la vida y el amor de mi familia, quien me da su apoyo, compañía y las fuerzas necesarias para poder culminar una etapa más de mi vida. Todos los esfuerzos te los dedico a ti padre mío.

Les dedico con todo cariño y amor, por ser las personas más importantes en mi vida y haberme brindado todo su apoyo, además de impulsarme a seguir adelante para el bien propio.

A mis padres: Martina Hernández Hernández

Raymundo Sampayo Montiel †

Por haberme dado la vida y por haberme brindado todo su cariño y amor en su momento, porque con sus acciones me impulsaron siempre a salir adelante y aunque ninguno de los dos está cerca de mí para ver mis logros, los amo con todo mi corazón.

A mis hermanos: Adrian Sampayo Hernández

María de los Ángeles Sampayo Hernández

Luis Miguel Sampayo Hernández

Por ser mis mejores amigos incondicionales, por todas las cosas que me han enseñado, por sus grandes consejos, por su compañía y unión en los momentos tristes y alegres. Por comprenderme cuando me equivoco, por ser el mayor tesoro que tengo en la vida, ustedes son mi sostén, mi pilar. Sin su apoyo y su cariño esto no sería posible, mil gracias por impulsarme cada uno de mis días, en especial a mi hermano Adrian por creer en mí y por apoyarme por encima de cualquier cosa. Ustedes son las personas más importantes en mi vida los AMO.

A mi mamá: Amalia Montiel Lemus

Por sus grandes valores y actitudes ante la vida, por ser el ejemplo de trabajo, vida y fortaleza. Por ser la mejor mamá del mundo, dándome su gran apoyo incondicional y confianza, por estar siempre al pendiente de mí, dándome los mejores consejos y su gran amor. La quiero muchísimo y siempre la llevo en mi corazón.

***A mis abuelitos:** Eugenia Hernández Ríos*

Cirilo Hernández Pelcastre

Por su apoyo, amor, compañía y consejos durante todo este tiempo. Los quiero mucho y siempre están presentes en mi vida.

***A Rolando Nieves Díaz (Roli),** por ser una de las personas más importantes en mi vida, por tu gran apoyo, comprensión y sobre todo amor que me has dado en cualquier circunstancia. Por todos los momentos que estas a mi lado desde que te conozco, por impulsarme cada día a seguir adelante, porque contigo aprendí cosas nuevas.*

A tu lado cada momento es especial y maravilloso. Gracias por compartir tu vida conmigo, por enseñarme a ver la vida de otro color y sobre todo por ser el amor de mi vida. TE AMO.

***A mis primos:** Elvia, Yessenia, Fernando, Diana, Omar, Lizbeth, Iván, Uriel, Omarcito, por su grata compañía, amistad y hermandad en todo momento. Por todos aquellos momentos tan bonitos que hemos pasado.*

***A mis tíos:** Andrés, Margarita, Lupita, Francis, Lázaro, por el entusiasmo, ánimo, apoyo y amor que me han brindado en todo momento.*

AGRADECIMIENTOS

A mi Alma Mater, por abrirme las puertas a la superación; la oportunidad de una formación profesional, por acogerme en su seno, ser la madre de mis conocimientos y abrirme camino en esta vida. Gracias por darme momentos inolvidables.

A mis amigos: Valentina "vale", Diana, Juan Octavio, Naye, Antonio "Toño", Ana Lilia, Elvia, Gabby; con quienes pase momentos inolvidables, por todas las ocasiones buenas y malas que nos brindamos una mano de apoyo, amistad y cariño.

A mis compañeros de generación: Claudia, Ana Lilia, Candy, Lore, Ignacio, Juan, Diego, Cristofer, Yam, Yaribeth, Dalía, Karina, Cinthia, Anahi, Toñita, Martha, Benjamin, Alfredo, Dante, Miguel, Lili, Lucia, Malu, Susana, Octavio, Elena, Cristal, Isaac, Mario, Tania.

A Lizbeth Nieves Díaz (Liz), por la amistad sincera y los buenos consejos y buenos momentos que me brindó desde que la conozco. Gracias.

A todos mis maestros:

Dra. María de Lourdes Morales, MC. María Hernández, Dr. Antonio Carbó, MC. Yajaira López, y especialmente al MC. Oscar Reboloso y MC. Xochilt Ruelas por su sincera amistad y apoyo durante la carrera.

En especial a:

A la MC. Laura Olivia Fuentes Lara, por dirigir con paciencia e inteligencia este gran proyecto, porque nunca dejó de creer en mí y me apoyo en toda circunstancia, por su sincera amistad, por los consejos que a cada momento me da y por todas las enseñanzas durante toda mi preparación profesional. Es una persona muy linda. Muchas gracias.

A la Q.F.B. María del Carmen Julia García, por brindarme su apoyo incondicional en la realización de este trabajo, por sus enseñanzas y paciencia durante toda mi preparación profesional. Muchas gracias.

Al Dr. Adalberto Benavides Mendoza, por todo el apoyo brindado para realizar este trabajo, su apoyo fue muy valioso. Muchas gracias.

A Carlitos Arévalo, por el apoyo, paciencia e interés brindado en la realización de este trabajo y por su sincera amistad.

A Julia Medrano, por todo al apoyo incondicional y los consejos que me brindo para la realización de este trabajo. Gracias.

A Rogelio López, por todo el apoyo incondicional que me brindo para realizar este trabajo, por su sincera amistad y por ser mi cuñis. Muchas gracias.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
DEDICATORIAS	III
AGRADECIMIENTOS	V
ÍNDICE DE CUADROS	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	X
RESUMEN	XI
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 JUSTIFICACIÓN	3
1.2 HIPÓTESIS	4
1.3 OBJETIVOS.....	5
1.3.1 Objetivo General	5
1.3.2 Objetivos Específicos	5
2. REVISIÓN DE LITERATURA	6
2.1 ALIMENTOS FUNCIONALES.....	6
2.1.1 Caracterización de los alimentos funcionales.....	6
2.2 FRUTAS Y HORTALIZAS	7
2.2.1 Consumo de frutas y hortalizas.....	11
2.2.2 Características distintivas de frutas y hortalizas.....	13
2.2.2.1. Betabel (<i>Beta vulgaris</i>).....	13
2.2.2.2. Papaya (<i>Carica papaya</i>)	14
2.2.2.3. Uva (<i>Vitis vinifera</i>).....	16
2.2.2.4. Ajo (<i>Allium sativum</i>).....	17
2.2.2.5. Cebolla (<i>Allium cepa</i>).....	18
2.2.2.6. Calabacita (<i>Cucúrbita pepo</i>)	21
2.2.2.7. Aguacate (<i>Persea americana</i>)	22
2.2.2.8. Manzana (<i>Malus domestica</i>)	24
2.2.2.9. Guayaba (<i>Psidium guajava</i>).....	28
2.2.2.10. Zarzamora (<i>Rubus ulmifolius</i>).....	29
2.2.2.11. Fresa (<i>Fragaria vesca</i>).....	31
2.2.2.12. Chile pimiento (<i>Capsicum annuum</i>)	32
2.3 ANTIOXIDANTES	33
2.3.1 La importancia de los antioxidantes	36
2.3.2 Sistema Antioxidante	37
2.3.3 Características de algunos antioxidantes primarios frecuentemente usados.....	38
2.4 ANTIOXIDANTES NATURALES	39
2.4.1 Antioxidantes en los vegetales.....	42

2.4.2 Clasificación de los antioxidantes naturales	50
2.5 LOS ANTIOXIDANTES SINTÉTICOS DISPONIBLES	51
2.6 LA VENTAJA NATURAL	52
2.6.1 Potencia de los antioxidantes naturales	53
2.6.2 Eficacia y mecanismo de acción	55
2.7 NUTRIENTES Y SUSTANCIAS NO NUTRITIVAS QUE ACTÚAN COMO ANTIOXIDANTES.....	58
2.7.1 Vitaminas	58
2.7.2 Minerales	59
2.7.3 Aminoácidos (los componentes más simples de las proteínas).....	59
2.7.4 Colorantes naturales u otros compuestos de vegetales	60
2.7.5 Sustancias propias del organismo, enzimas antioxidantes	60
2.8 ESTRÉS OXIDATIVO	61
2.8.1 Especies reactivas del oxígeno	62
2.8.2 Radicales Libres	64
2.9 SISTEMA DE DEFENSA ANTIOXIDANTE.....	65
2.10 MÉTODOS PARA MEDIR ANTIOXIDANTES.....	67
2.11 TENDENCIAS FUTURAS.....	68
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	69
3.1 APARATOS Y MATERIALES	69
3.1.1 Aparatos	69
3.1.2 Materiales	69
3.2 REACTIVOS	70
3.3. METODOLOGÍA.....	71
3.3.1 Determinación de la Capacidad Antioxidante Total en Alimentos.....	71
3.3.2 Preparación de los reactivos.....	71
3.3.3 Otros	71
3.3.4 Procedimiento	72
3.3.5 Cálculos	73
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	74
5. CONCLUSIONES.....	80
6. RECOMENDACIONES	81
7. LITERATURA CITADA	82

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Principales valores nutricionales del ajo crudo por cada 100 g.....	18
2. Principales valores nutricionales de la manzana por cada 100 g.....	27
3. Principales valores nutricionales de la guayaba por cada 100 g.....	29
4. Principales valores nutricionales de la fresa por cada 100 g.....	32
5. Lista de alimentos que contienen antioxidantes.....	40
6. Principales moléculas antioxidantes de cada vegetal.....	43
7. Sistema de defensa <i>in vivo</i> contra el daño oxidativo.....	53
8. Determinación de la capacidad antioxidante total en el extracto de tejido vegetal de doce especies.....	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Balance Oxido-Reducción.....	65
2. Clasificación de los Antioxidantes.....	66
3. Potencial antioxidante total mM/g de cada especie vegetal.....	78

RESUMEN

El presente estudio de investigación, fue realizado en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Con el objetivo de cuantificar antioxidantes totales de los extractos de tejidos vegetales de doce especies mediante el uso del Kit Calbiochem[®], obteniéndose que el chile pimiento con 0.476 mM/g, la fresa con 0.379 mM/g y la zarzamora con 0.359 mM/g fueron altamente significativos y mostraron el mayor nivel de potencial antioxidante mientras que el betabel con 0.028 mM/g y la papaya con 0.062 mM/g fueron los vegetales que menor potencial antioxidante presentaron. Los demás vegetales: guayaba con 0.275 mM/g, manzana con 0.246 mM/g, aguacate con 0.222 mM/g, calabacita con 0.210 mM/g, cebolla con 0.124 mM/g, ajo con 0.108 mM/g y uva con 0.102 mM/g presentaron actividad antioxidante significativa. Todos los vegetales evaluados presentan actividad antioxidante debido a las moléculas presentes en ellos lo cual se correlaciono con la capacidad antirradical.

Palabras clave: *Potencial antioxidante, vegetal, radicales libres.*

1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día nos encontramos inmersos en un cambio en el concepto de alimento y en nuestra forma de alimentarnos. De hecho, además de las propiedades nutritivas y sensoriales de los alimentos se está reconociendo el papel que pueden tener actuando como agentes protectores de la salud, debido a sus propiedades funcionales (Arvanitoyannis y Houwelingen-Koukaliaroglou, 2005). Por tanto, no sólo se recomienda la ingesta de nutrientes como lípidos, azúcares, proteínas y compuestos minerales, sino que cada vez es más evidente que los alimentos también contienen un gran número de compuestos con acción protectora de la salud. En este sentido, recientes estudios epidemiológicos han indicado que un alto consumo de frutas y hortalizas está relacionado con una reducción en el riesgo de varias enfermedades crónicas, tales como enfermedades coronarias y algunos tipos de cáncer (Schieber *et al.*, 2001). Esto se atribuye a que estos alimentos proporcionan una mezcla óptima de antioxidantes naturales (polifenoles, tocoferoles, carotenoides y vitamina C), fibras y otros compuestos bioactivos (Tomás- Barberán y Espín, 2001; Kaur y Kapoor, 2001).

Las frutas y vegetales contienen grandes cantidades de antioxidantes naturales los cuales pueden proteger al ser humano frente a diferentes enfermedades crónico degenerativas. Dentro de los vegetales la cantidad y variedad de compuestos fenólicos (responsables de las propiedades antioxidantes) pueden verse afectados tanto por la variedad de cultivo, tipo de suelo, estado de madurez, y fertilización entre otros. Algunos de estos compuestos fenólicos son bien conocidos como sustancias no deseables pues intervienen en procesos de oscurecimiento enzimático que son catalizados por la enzima polifenol oxidasa. Por ello, durante la pasada década el interés en compuestos fenólicos, incluyendo a los flavonoides, se ha visto incrementado principalmente debido a sus

efectos y su posible desempeño en la prevención de enfermedades crónicas degenerativas en las que se involucra un estrés oxidativo. Dentro de las frutas que mayor contenido de antioxidantes aportan a la dieta se encuentran las frutas del bosque o también conocidas como “berries” (fresa, zarzamora, frambuesa), manzanas, granadas, duraznos, entre otras.

Los polifenoles de las frutas incluyen una amplia gama de compuestos con actividad antioxidante que pueden verse afectados por factores tales como, tipo de cultivo, tipo de suelo, horas de luz, estado de maduración e incluso la fertilización (Waterman y Mole, 1994).

Además, otra fuente de variación es la parte del fruto de que se trate dependiendo si consideramos la pulpa o la piel, en donde se encuentra la mayor parte de estos compuestos polifenólicos. Esto ha sido descrito en diferentes estudios y concretamente en un estudio realizado con 25 cultivos de duraznos, nectarinas y ciruelas (Tomas-Barberán, *et al.*, 2001). Los compuestos polifenólicos se encuentran en los alimentos tanto en forma libre como ligados a azúcares y esta proporción varía entre las frutas desde un 8.7 % en los arándanos al 90% en la sandía (Vinson, *et al.*, 2001).

En cuanto a la determinación del potencial antioxidante total existe una variedad muy amplia de métodos que a su vez se dividen en dos categorías dentro de las cuales el método más utilizado es el ORAC (capacidad de absorción de radical de oxígeno)(Ou, *et al.*, 2002).

1.1 JUSTIFICACIÓN

La dieta juega un papel importante en la prevención de las enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo, fundamentalmente a través de la ingestión de compuestos bioactivos de origen vegetal. Entre ellos, las vitaminas hidrosolubles y liposolubles, carotenoides y una gran variedad de compuestos fenólicos, la capacidad antioxidante y beneficiosa de los cuales están siendo investigados ampliamente en los últimos años.

En la actualidad, este grupo de compuestos de origen vegetal, presentan un gran interés nutricional, por su contribución, al mantenimiento de la salud humana. De hecho, desde 1990, diversas organizaciones internacionales, en el ámbito de la nutrición, recomiendan un consumo diario como mínimo de cinco raciones de fruta o verdura, para asegurar una adecuada ingesta de antioxidantes y prevenir enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo. Mucha gente consume calorías en exceso, casi no tiene desgaste físico y desconoce la composición de los alimentos que se lleva al estómago, sus beneficios y sus perjuicios, y las consecuencias de todo esto van más allá del aumento de peso.

Los alimentos que nos aportan vitaminas, minerales y antioxidantes no nos garantizan eterna salud y juventud, pero está comprobado que contribuyen a protegernos de las enfermedades cardiovasculares, de la formación de tumores, que refuerzan nuestras defensas y que demoran el envejecimiento celular, lo que no es poca cosa, menos aún teniendo en cuenta que para incorporar estos nutrientes no es necesaria la ingesta de capsulas ni de alimentos costosos: basta con los que podemos encontrar en la verdulería más cercana. Por lo anterior, se propuso el siguiente trabajo en donde se determinaron los antioxidantes totales presentes en especies vegetales, lo cual sirve como base para lograr en la población una calidad nutrimental mayor.

1.2 HIPÓTESIS

- ✓ Los vegetales evaluados tienen un alto contenido de antioxidantes.

- ✓ Es factible obtener un extracto de diferentes vegetales con características antioxidantes, que puede ser empleado como antioxidante en la elaboración de alimentos.

- ✓ El agua es un solvente adecuado para mantener la pureza de los antioxidantes contenidos en los vegetales.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Cuantificación de la capacidad antioxidante total en extracto de tejido de doce especies vegetales, mediante el uso del Kit Calbiochem®.

1.3.2 Objetivos Específicos

Obtener el rango de variación y comparar los niveles de capacidad antioxidante total en chile pimiento, cebolla, ajo, calabacita, aguacate, betabel, manzana, papaya, guayaba, fresa, uva y frambuesa.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Alimentos Funcionales

Cada día es mayor la investigación interdisciplinaria para determinar los componentes químicos que tienen efectos positivos en la salud, así como las fuentes alimentarias disponibles.

Los conceptos de "alimento funcional" y "alimento saludable" son términos relativamente nuevos para la cultura occidental. Sin embargo, desde 1000 A.C. se reconoce el papel de los alimentos en la prevención y tratamiento de muchas enfermedades. De acuerdo con el Centro Internacional de Información sobre Alimentos IFIC, el desarrollo de la investigación de los componentes no considerados nutrientes y su relación con la salud inició antes de la década de 1940.

2.1.1 Caracterización de los alimentos funcionales

En setiembre de 1995, se desarrolló un foro denominado "Perspectivas Orientales respecto a los alimentos funcionales", donde se llegó al acuerdo de que la clasificación de alimentos funcionales incluye a todos los alimentos que tienen componentes fisiológicamente activos y que proveen beneficios, tanto por el aporte nutricional, así como por su función protectora contra enfermedades crónicas y cancerígenas (<http://inficinfo.health.org/insight/2000>).

Según Elías (2000), la característica principal de los alimentos funcionales es la composición química nutricional, exaltando tanto la función fisiológica preventiva, como la nutricional. Dado que se ha presentado confusión respecto a la diferencia entre un producto natural con características funcionales y un producto procesado con las mismas

propiedades, últimamente han surgido otros conceptos comerciales tales como: "alimento saludable" y "nutracéutico".

Según el IFIC, el alimento saludable es aquél que en su estado natural o con el mínimo procesamiento, tiene componentes con propiedades benéficas para la salud. Mientras que el concepto de "alimento funcional", se aplica más a aquellos productos procesados en donde intencionalmente se les agrega un componente específico. Los "nutraceúticos" incluyen a los suplementos que se elaboran a partir de combinaciones de vitaminas, nutrimentos inorgánicos, sustancias antioxidantes y otros.

Sin embargo es importante aclarar que, desde un punto de vista normativo, aún no se han establecido claramente las características que diferencian uno de otro (<http://inficinfo.health.org/insight/novdec95/enhance.htm>).

2.2 Frutas y Hortalizas

Las hortalizas son la parte comestible de las plantas que se consume con el plato principal de las comidas o cenas, como ensaladas o sopas. Se pueden transformar en bebidas o almidones vegetales, comerse crudas o ligeramente procesadas, desecadas, en encurtidos o congeladas. Aportan a las dietas sus características propias de sabor, color y textura y sufren cambios durante el almacenamiento y cocinado. Situándose cerca de los cereales arroz, maíz y trigo, las patatas son la hortaliza más prolífica cultivada para consumo humano.

Por definición botánica, las frutas son los ovarios maduros de la plantas con sus semillas. Esta definición incluye todos los granos, legumbres, frutos secos y semillas, y <<hortalizas>> corrientes como

pepinos, aceitunas, pimientos y tomates. Considerada en un papel culinario, fruta es la parte carnosa de una planta, habitualmente consumida sola o servida como postre. Las frutas son ricas en ácido ascórbico y azúcar (Vaclavik A, 2002).

El valor nutritivo de las vitaminas, minerales, fibra, y otros compuestos que contienen las frutas y hortalizas son extremadamente importantes para la dieta. Se están descubriendo beneficios dietéticos y medicinales adicionales de frutas y hortalizas. Se recomienda en la Pirámide Nutricional (USDA) el consumo diario de tres a cinco raciones de hortalizas y de dos a cuatro raciones de frutas.

Las vitaminas presentes en las hortalizas y las frutas son principalmente caroteno (un precursor de la vitamina A), vitaminas B₁ y C; las frutas proporcionan más del 90% de la vitamina C y el mayor porcentaje de la vitamina A en una dieta. El beta-caroteno está presente en las frutas y hortalizas de color naranja oscuro y en las hortalizas verdes. Se producen pérdidas hidrosolubles con el remojo y el calentamiento, principalmente en el último.

Las enzimas son responsables del deterioro de la calidad nutritiva así como de los cambios de sabor, textura y color. Específicamente, las enzimas ácido ascórbico oxidasa y tiaminasa pueden causar cambios nutricionales en la vitamina C y B₁ durante el almacenamiento. La retención de estas vitaminas está controlada por el escaldado efectivo antes de la congelación (Barrett, *et al.*, 1995).

Los pigmentos vegetales potencian el valor estético de frutas y hortalizas para los humanos, así como la atracción de insectos y aves, lo que favorece la polinización. Los pigmentos cambian con la maduración y el procesado de las hortalizas o frutas crudas.

Los cuatro pigmentos predominantes son clorofila, el pigmento verde; los carotenoides, un pigmento naranja, rojo o amarillo; y los dos flavonoides antocianina, el pigmento pùrpura, azul o rojo, y antoxantina, el pigmento blanco. Se usa generalmente la cromatografía líquida de alta eficacia (HPLC) para el análisis de los pigmentos vegetales (Gross J, *et al.*, 1991).

La *clorofila* es el pigmento verde que se encuentra en los cloroplastos celulares que es responsable de la fotosíntesis. Es liposoluble y puede aparecer en el agua de cocción de hortalizas que contiene grasa.

Los *carotenoides* son los pigmentos liposolubles rojos, naranjas y amarillos de frutas y hortalizas, incluyendo carotenos y xantofilas. Se encuentran en los cloroplastos junto con la clorofila. El pigmento carotenoide se ve especialmente en flores, frutas incluyendo tomates, pimientos y cítricos, y raíces, incluyendo zanahorias y boniatos.

Los *carotenos* son hidrocarburos insaturados que contienen muchos átomos de carbono. Contienen dobles enlaces conjugados (es decir, dobles enlaces que alternan con enlaces sencillos) y son responsables del color. Cuantos más dobles enlaces conjugados, más intenso es el color. Hay cientos de tipos de carotenos. El caroteno más conocido es el beta-caroteno, degradado por una enzima en la mucosa intestinal para formar vitamina A. En total, se conoce que 40 carotenoides son precursores de la vitamina A (Gross J. *et al*, 1991).

Las *xantofilas* son los derivados oxidados de carotenos de color amarillo-anaranjados constituidos por carbono, hidrogeno y oxigeno.

La *antocianina* es el pigmento pùrpura, azul o azul-rojizo en frutas y hortalizas como la col roja, las ciruelas rojas, frambuesas y ruibarbo. Las

pieles de las manzanas rojas, patatas rojas, uvas y berenjenas también contienen el pigmento antocianina. Las antocianinas pertenecen al grupo de los compuestos químicos flavona, y se distinguen, por tanto, de los rojos anaranjados encontrados en los carotenoides. Estos pigmentos son hidrosolubles y se encuentran en la savia celular de las plantas; por eso, se pueden liberar en el agua de cocción con exposición prolongada al calor.

El pigmento *antoxantina* es similar a la antocianina, pero se encuentra en un estado menos oxidado. Representa los pigmentos flavona, flavonol y flavanona de hortalizas como coliflor, cebollas, patatas y nabos. Las antoxantinas son los pigmentos hidrosolubles blancos o amarillentos pálidos que se encuentran en la savia celular. Algunas antoxantinas pueden cambiar a antocianinas y exhibir un matiz rosado si las hortalizas se calientan en exceso.

Las *betalainas* son un grupo menor de pigmentos. Son similares tanto a las antocianinas como antoxantinas pero tiene un grupo nitrógeno en la estructura molecular. Las betalainas que se encuentran en remolachas, llamadas betacianinas, son rojas como las antocianinas a un pH de 4-7, mientras otras betalainas, tal como betaxantinas, son amarillas como las antoxantinas, a un pH superior a 10. Por debajo de un pH de 4, el tono de la betalaina es violeta.

Los *taninos* son compuestos polifenoles que aportan tanto color como astringencia a los alimentos. Quizás el mejor conocido es el pigmento pardo que se encuentra en las hojas de té que se puede usar como un colorante marrón. (Tanino es un término que se uso previamente para los compuestos fenolicos que intervienen en el pardeamiento enzimático).

2.2.1 Consumo de frutas y hortalizas

Diferentes estudios epidemiológicos realizados han demostrado que existe una correlación significativa entre el consumo de frutas y vegetales y la disminución en la incidencia de enfermedades coronarias, algunos tipos comunes de cáncer y otras enfermedades degenerativas. Recientemente, se ha podido atribuir el efecto de una dieta rica en frutas y hortalizas al alto poder de acción contra los radicales libres o capacidad antioxidante que éstas exhiben. En efecto, los antioxidantes naturales como las vitaminas C y E, compuestos fenólicos (que incluyen los flavonoides), carotenoides y antocianinas poseen la capacidad de contrarrestar el efecto en el organismo de los radicales libres, resultantes de las reacciones oxidativas que acompañan el metabolismo y que pueden inducir cáncer, enfermedades cardiovasculares o inmunodeficiencias, cataratas oculares, aterosclerosis, diabetes, artritis, envejecimiento y disfunciones cerebrales. Los alimentos y más específicamente las frutas han asumido una nueva función, en la medida en que proveen beneficios fisiológicos adicionales como prevenir y proteger contra enfermedades, principalmente por su acción contra las reacciones oxidativas. Por estas razones, algunos investigadores resumen los beneficios de estos productos bajo el término de "alimentos funcionales".

En consecuencia, se ha incrementado en los últimos años el interés por investigar la eficacia de compuestos naturales con propiedades antioxidantes y sobre todo de caracterizar el potencial antioxidante de diferentes productos biológicos con el fin de orientar el consumo de una dieta más saludable. La mayor parte de los estudios sobre antioxidantes se han centrado en frutas como arándano, uva, mora, fresa, frambuesa y otros tipos de bayas y productos derivados como jugos, bebidas o vino. Los flavonoides y otros compuestos fenólicos presentes en

este tipo de frutas han demostrado poseer efectos anticarcinogénicos, antiinflamatorios, antihepatotóxicos, antibacterianos, antivirales, antialérgicos y antitrombóticos (Karakaya S, 1999).

Algunos autores han reportado que los flavonoides de la manzana presentan una fuerte actividad antioxidante contra células cancerígenas de colon e hígado. Dicho efecto fue mayor cuando la cáscara de la manzana se incluyó en las muestras analizadas. Entre algunos de los vegetales estudiados por su actividad antioxidante se encuentran ajo, brócoli, coliflor, frijoles, cebolla, espinaca y tomate. El licopeno es el pigmento mayoritario del tomate y pertenece al grupo de los carotenoides. Hoy día, existe un interés creciente por los productos derivados del tomate dado que se ha comprobado *in vivo* la capacidad del licopeno para inhibir la carcinogénesis en ciertos tipos de células minórales. En las crucíferas como brócoli, repollo o coliflor se ha encontrado un compuesto, el isotiocianato, que mostró una alta actividad anticarcinogénica en tumores mamarios en ratas.

Algunos estudios señalarían que las condiciones climáticas propias de las zonas tropicales con altas temperaturas y fuerte radiación solar, favorecen una mayor síntesis de compuestos antioxidantes por parte de las plantas, como un mecanismo de defensa para contrarrestar las plagas. El potencial beneficio sobre la salud por parte de los fitoquímicos presentes en las frutas y hortalizas ha tenido un impacto reciente sobre la industria de alimentos que muestra un interés cada vez mayor por incorporar o conservar este tipo de compuestos. El poder antioxidante de los alimentos procesados surge como un importante parámetro para asegurar la calidad del producto terminado. Sin embargo, para la mayoría de las frutas tropicales existe relativamente poca información en cuanto a su potencial antioxidante y el CITA (Centro de Investigación y Tecnología Alimentaria) ha emprendido un proyecto de investigación con el fin de

caracterizar desde este punto de vista un amplio número de frutas tropicales producidas en Costa Rica.

A partir del análisis de las frutas con mayor potencial, nos proponemos establecer una correlación entre la capacidad antioxidante y su composición química. Adicionalmente, dada la escasa información reportada en el ámbito internacional, se estudiará la incidencia de diferentes procesos tecnológicos de conservación sobre la capacidad antioxidante total de las frutas y sus productos derivados.

2.2.2 Características distintivas de frutas y hortalizas

2.2.2.1. Betabel (*Beta vulgaris*)

Beta vulgaris, la remolacha, también conocida como acelga blanca, betarava, betarraga (Chile y Perú), beterava, beterrada (Islas Canarias) y betabel (México), es una planta de la familia Chenopodioideae, de la cual las hojas y la raíz son comestibles.



En la actualidad, por lo general sólo se come la raíz del betabel: cruda, cocida, encurtida o enlatada. El betabel es uno de los vegetales con mayor contenido de azúcar y cada 100 gramos de betabel poseen el equivalente a una cucharadita de azúcar. El betabel es pariente de la remolacha azucarera (la que antes sólo se usaba para alimentar a los animales y ahora se cultiva para obtener sacarosa).

El betabel ligeramente hervido es una buena fuente de nutrimentos, si no es que mejor que el producto crudo. Contiene mayor cantidad de minerales, incluyendo potasio (el que regula el ritmo cardiaco y mantiene normales la presión arterial y el sistema nervioso). El nivel de la mayoría de las vitaminas se mantiene igual, incluyendo la vitamina C, y solamente hay una pequeña pérdida de folato.

Si cuece el betabel sin pelarlo, evitará que escurra el pigmento rojo que contiene--llamado betacianina-- y que se manchen los utensilios de cocina. La betacianina se extrae del betabel para crear un colorante llamado rojo de betabel. Se usa en la industria de procesamiento de alimentos para añadir color a cualquier cosa, desde una sopa hasta un helado o desde una hamburguesa hasta un licor.

Además de las propiedades anticancerosas que se cree que posee, el betabel es rico en potasio, contiene vitamina C, además de calcio y hierro, también es una buena fuente de folato: una vitamina esencial para mantener sanas las células (<http://www.alimentacion-sana.com.ar/informaciones/alimentoscuran/betabel.htm>).

2.2.2.2. Papaya (*Carica papaya*)



Es una planta de origen centroamericano, conocida y empleada en toda América desde hace varios siglos, aunque hoy día se cultiva en muchos países de otros continentes, principalmente, en Asia y África. Antes de la llegada de los europeos, en México se le daba el nombre *chichihualtzapotl*, que en náhuatl

significa "zapote nodriza", y era un fruto especialmente relacionado con la fertilidad.

Recibe este fruto distintos nombres en América así: Etiología Caribe – Abahai; taino -Mapaja; Kalina – Kabaya; Arawaco – Papaya; Maipure – Mapaya; Otomaco – Papaio.

Los frutos poseen una textura suave y una forma oblonga, y pueden ser de color verde, amarillo, naranja o rosa. Pudiendo pesar hasta 9 kg, en la mayoría de los casos no suelen pesar más de 500 o 600 g, especialmente en una variedad de cultivo de plantas enanas, muy productivas y destinadas generalmente a la exportación, por su mayor duración después de la cosecha y antes de su consumo. La talla de los frutos disminuye en función de la edad de la planta. Los frutos y las flores se desarrollan en racimos justo debajo de la inserción de los tallos de las hojas palmeadas. No es exigente en cuanto a suelos, pudiendo desarrollarse en cualquier terreno abandonado o incluso en alguna maceta grande. Es una de las plantas más productivas con relación a su tamaño ya que siempre tiene flores y frutos al mismo tiempo. El desarrollo de los frutos produce la caída de las hojas inferiores, por lo que quedan siempre al descubierto por debajo de las hojas. La especie presenta dioecia naturalmente, pero la selección artificial ha producido especímenes hermafroditas.

Originaria de los bosques de México, Centroamérica y del norte de América del Sur, la planta de la papaya se cultiva en la actualidad en la mayoría de los países de la zona intertropical del orbe. La papaya es conocida como fruta de consumo, tanto en forma directa como en jugos y dulces (elaborados con la fruta verde cocinada con azúcar), y tiene unas magníficas propiedades para facilitar la digestión de alimentos de difícil asimilación, debido a su alto contenido de papaína. De esta enzima

llamada papaína se producen más de 1000 toneladas anuales en el mundo entero. La utilidad de dicho producto derivado está en la fabricación de cerveza, cosméticos e industria alimenticia (http://www.occidenteagricola.com/info/doc_evaluaciones/pdf/manuales%20tecnicos%20horticolas/Cultivo%20de%20la%20Papaya.pdf).

2.2.2.3. Uva (*Vitis vinifera*)



La uva es una fruta obtenida de la vid. Las uvas, granos de uva, vienen en racimos y son pequeñas y dulces. Se comen frescas o se utilizan para producir agraz, mosto, vino y vinagre.

Crecen agrupadas en racimos de entre 6 y 300 uvas. Pueden ser negras, moradas, amarillas, doradas, púrpura, rosadas, marrones, anaranjadas o blancas, aunque estas últimas son realmente verdes y evolutivamente proceden de las uvas rojas con la mutación de dos genes que hace que no desarrollen antocianos, siendo estos los que dan la pigmentación.

La vid es familia de la vitaceae, se originó en la zona ubicada entre el Mar Caspio y el Asia Menor. En el Perú las mayores zonas productoras son Ica, La Libertad, Lima, Tacna, entre otras. La vid es una planta perenne y posee un periodo vegetativo con cosechas anuales, empezando a producir a partir del tercer año de instalada. Requiere de un clima tropical y sub-tropical, que posean temperaturas entre los 7° y 24° con una humedad relativa de 70% u 80%, desarrollándose exitosamente en suelos franco-arcillosos. Se reproduce por vía sexual (semillas) o a-sexual (estacas, acodos e injertos) (Agrobanco, 2008).

2.2.2.4. Ajo (*Allium sativum*)



Es una hortaliza cuyo bulbo se emplea comúnmente en la cocina mediterránea. Tiene un sabor fuerte (especialmente estando crudo) y ligeramente picante. Tradicionalmente se agrupaba dentro de la familia de las liliáceas pero actualmente se le ubica dentro de la subfamilia de las alióideas de las amarilidáceas.

Es una planta perenne de la familia de la cebolla. Las hojas son planas y delgadas, de hasta 30 cm de longitud. Las raíces alcanzan fácilmente profundidades de 50 cm o más. El bulbo, de piel blanca, forma una *cabeza* dividida en gajos que comúnmente son llamados *dientes*. Cada cabeza puede contener de 6 a 12 dientes, cada uno de los cuales se encuentra envuelto en una delgada película de color blanco o rojizo. Cada uno de los dientes puede dar origen a una nueva planta de ajo, ya que poseen en su base una yema terminal que es capaz de germinar incluso sin necesidad de plantarse previamente. Este brote comienza a aparecer luego de los tres meses de cosechado, dependiendo de la variedad y condiciones de conservación. Las flores son blancas, y en algunas especies el tallo también produce pequeños bulbos o hijuelos. Un par de semanas antes de que el ajo esté dispuesto para ser cosechado, brota un vástago redondo que tiende a enroscarse que le llaman porrino; este porrino es una delicia gastronómica.

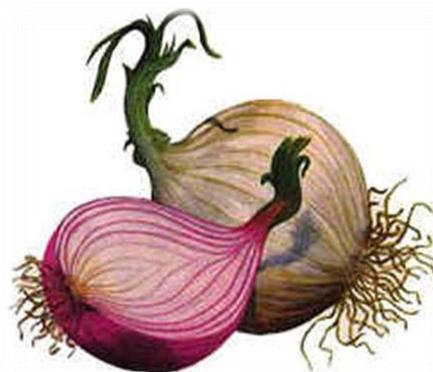
Una característica particular del bulbo es el fuerte olor que despiden al ser cortado. Esto se debe a dos sustancias altamente volátiles, la aliina y el disulfuro de alilo. Aunque posee un origen incierto, se le considera

oriundo de Asia, desde donde se extendió a toda Europa, y desde allí hacia América, por medio de los conquistadores españoles (Lemar K, *et al.*, 2002).

Cuadro 1. Principales valores nutricionales del ajo crudo por cada 100 g.

Energía 150 Kcal 620 Kj	
Carbohidratos	33.06 g
• Azúcares	1.00 g
Grasas	0.5 g
Proteínas	6.36 g
Niacina (Vit. B3)	0.7 mg (5%)
Ácido pantoténico (B5)	0.596 mg (12%)
Vitamina B6	1.235 mg (95%)
Vitamina C	31.2 mg (52%)
Calcio	181 mg (18%)
Hierro	1.7 mg (14%)
Magnesio	25 mg (7%)
Fósforo	153 mg (22%)
Sodio	17 mg (1%)
Zinc	1.16 mg (12%)
% CDR diaria para adultos.	
<i>Fuente: Base de datos de nutrientes (USDA)</i>	

2.2.2.5. Cebolla (*Allium cepa*)



Es una planta herbácea bienal de la familia de las amarilidáceas. En el primer año de cultivo tiene lugar la "bulbificación" o formación del bulbo, mientras que el segundo año se produce la emisión del "escapo floral" o fase reproductiva.

En cuanto a su morfología, la cebolla presenta un sistema radicular formado por numerosas raicillas fasciculadas, de color blanquecino, poco profundas, que salen a partir de un tallo a modo de disco, o "disco caulinar". Este disco caulinar presenta numerosos nudos y entrenudos (muy cortos), y a partir de éste salen las hojas. Las hojas tienen dos partes claramente diferenciadas: una basal, formada por las "vainas foliares" engrosadas como consecuencia de la acumulación de sustancias de reserva, y otra terminal, formada por el "filodio", que es la parte verde y fotosintéticamente activa de la planta. Las vainas foliares engrosadas forman las "túnicas" del bulbo, siendo las más exteriores de naturaleza apergaminada y con una función protectora, dando al bulbo el color característico de la variedad. Los filodios presentan los márgenes foliares soldados, dando una apariencia de hoja hueca. Las hojas se disponen de manera alterna.

La bulbificación tiene lugar como consecuencia de un aumento del fotoperiodo (periodo de iluminación diurna) acompañado de un ascenso de las temperaturas, ya que la cebolla es una planta de día largo. El segundo año, al producirse unas condiciones ambientales favorables, tiene lugar la fase reproductiva. Esto se traduce en la emisión de un tallo o escapo floral que alcanza en torno a 1 m de altura, hueco en su interior y abombado en su parte basal.

El fruto es de tipo cápsula, conteniendo semillas pequeñas (1 g = 250 semillas), de color negro, que presentan una cara plana y la otra convexa. Su viabilidad desciende un 30% el segundo año, y un 100% el tercero.

El bulbo de la cebolla está compuesto por células que tienen un tamaño relativamente grande y poseen formas alargadas u ovaladas.

Dichas células se encuentran unidas entre sí por una sustancia llamada péptico (que es producida por la pared celular), cuya función es darle estructura firme y protección al "fruto" de la *Allium cepa*.

Otra característica muy importante del bulbo es que su estructura consta en su mayoría de hojas; es decir, los nomófilos de la planta, que surgen de un tallo abreviado o disco apenas perceptible, y cuyos nudos y entrenudos están muy juntos. Estas hojas se distinguen en bases foliares o vainas de reserva y en vainas de protección (hojas apergaminadas que recubren todo el bulbo).

Al trozarlo y romperse sus células unos aminoácidos con grupos sulfuro contactan con unos enzimas específicos y se produce sulfóxido de tiopropanal, que es una sustancia irritante que tiene como objetivo la defensa frente a depredadores. Ese es el motivo por el cual es conveniente cortarlas bajo un chorro de agua.

Es un alimento que debe ser incluido definitivamente en nuestra alimentación. Posee una potente acción contra el reumatismo, de manera similar al ajo (ambas se encuentran en la misma familia taxonómica). Esta disuelve el ácido úrico (responsable de la enfermedad de la gota, que afecta a los riñones y las articulaciones), lucha contra las infecciones gracias a sus sales de sosa y su potasa, que alcalinizan la sangre.

Sus otras virtudes principales son:

- La misma abundancia de quercetina protege al sistema cardiovascular,
- Limitación de las infiltraciones de líquido seroso en los órganos, lo que corre peligro de provocar edemas,
- Eficacia demostrada sobre el sistema urinario y sobre la próstata, el mejor tránsito, la limitación de las infecciones.

Además contiene:

- Fósforo, "facilitando" el trabajo intelectual,
- Silicio, el cual mejora la elasticidad para las arterias y compuestos que favorecen la fijación del calcio en los huesos,
- Sin contar las vitaminas A, B, C, más los beneficios en azufre, hierro, yodo, el potasio, y dosis moderadas de sodio (<http://www.infoagro.com/hortalizas/cebolla.htm>).

2.2.2.6. Calabacita (*Cucúrbita pepo*)

La *Cucúrbita pepo* es una planta herbácea anual de la familia de las cucurbitáceas oriunda del América, cuyo fruto se emplea como alimento. En la actualidad es también cultivada extensamente en toda Europa como calabazas de verano, cuyos frutos se consumen inmaduros.



Es una planta rastrera que puede llegar a los 10 m de longitud, de tallos acanalados y de aspecto áspero y sarmentoso hojas pubescentes, lobuladas y acorazonadas. Las grandes flores amarillas son unisexuales; las masculinas tienen los estambres soldados en forma de pilar y en ambos sexos el cáliz está unido a la corola.

Los frutos son oblongos y varían mucho en tamaño, dependiendo de la variedad. La cáscara es lisa y dura y también varía en color. Las variedades que se siembran en mayo o junio son de piel verdi-blanca mientras que las sembradas en marzo son de piel oscura.

Como todas las cucurbitáceas, la *Cucúrbita pepo* se hibrida con facilidad con otras especies afines; esa es una de las causas de la frecuente confusión entre las mismas, de las cuales algunas (como *Cucúrbita máxima* y *Cucúrbita moschata*) se cultivan también por su fruto. Existen multitud de variedades de diferentes colores y tamaños; las más grandes llegan a pesar entre 18 a 36 kg.

La *Cucúrbita pepo*, con un alto contenido de agua (93%), es rica en minerales, sobre todo potasio, vitamina C y β -caroteno ().

2.2.2.7. Aguacate (*Persea americana*)

El aguacate es una planta perteneciente a la familia de las Lauráceas. Originario de Guatemala, parte de Centro América y México.



Es una planta perenne, de gran crecimiento vegetativo, llegando en su hábitat natural a una altura de 10 a 12 metros. Con raíces superficiales, que absorben agua y nutrientes principalmente en las puntas a través de los tejidos primarios; esto determina la susceptibilidad del árbol al exceso de humedad que induce a ataques de hongos y pudriciones vasculares.

Las ramas son abundantes, delgadas y frágiles, sensibles a las quemaduras de sol y a las heladas, se rompen con facilidad al cargar muchos frutos o por acción del viento, las flores son hermafroditas, simétricas, de color verde amarillento. Las hojas son simples y enteras, presentan un color rojizo y al llegar a la madurez se tornan lisas, coriáceas, y de un verde intenso

Con relación a la polinización, en las regiones subtropicales y templado-cálidas, las plantas actúan como auto fértiles, tal es el caso de las plantaciones de Aguacate variedad Hass de Guatemala en donde no son necesarias las variedades polinizadoras.

El fruto del aguacate es una drupa carnosa, de forma periforme, ovoide, globular ó elíptica alargada; Su color varía del verde claro al verde oscuro, y del violeta al negro. La forma, el color, la estructura y consistencia de la cáscara y de la pulpa, son características determinadas por el grupo ecológico y la variedad analizada.

La mayoría de las variedades comerciales en los países productores de aguacate se han clasificado en tres razas básicas o grupos ecológicos: La mexicana, de origen Mexicano, La guatemalteca y antillana, ambas de origen Guatemalteco y parte de Centroamérica. Entre las características distintivas se tomó en cuenta, la época de floración y recolección, el período de floración-recolección, el peso y tipo de corteza de la fruta, el contenido de aceite de la pulpa y la resistencia al frío.

El aguacate contiene: Vitaminas: E, A, B1, B2, B3, D, y en menor cantidad C, Minerales: muy rico con 14 variedades destacan: hierro, fósforo y magnesio. Otros: Ácido fólico, Niacina, Biotina (<http://portal.anacafe.org/Portal/Documents/Documents/2004-12/33/5/Cultivo%20de%20Aguacate.pdf>).

2.2.2.8. Manzana (*Malus domestica*)

Se desconoce el origen exacto del manzano. Unos autores señalan que procede de las montañas del Cáucaso, mientras que otros indican que el *Malus sieversii* (Ledeb) Roem.



Es una especie silvestre que crece en las regiones montañosas de Asia media y podría ser el manzano del que se habrían originado hace 15.000 ó 20.000 años las primeras especies cultivadas de este árbol. La manzana fue introducida en la península por los romanos y los árabes y hoy en día, España es uno de los principales países productores. Cataluña produce el 40% del total de la producción nacional seguida de Aragón, La Rioja y Navarra. En total casi 45.000 hectáreas plantadas de manzanos de las que se obtienen cada año unas 780.000 toneladas de fruta. Otros países productores son: China, Estados Unidos, Alemania, Italia, Polonia, Francia, Irán, Rusia, India, Brasil, Bélgica, Países bajos y Austria. La facilidad de adaptación de este árbol a diferentes climas y suelos, el valor nutritivo de sus frutos y la resistencia a las más bajas temperaturas permiten cultivarlo a gran escala en todos los países de clima relativamente frío. Existen más de mil variedades de manzanas en todo el mundo, si bien, la gama que nos ofrece el mercado es limitada, ya que tan sólo podemos elegir entre poco más de media docena de variedades.

Características:

- Forma: son pomos por lo general de forma ovoide, a veces alargados o redondos, que esconden numerosas semillas de color pardo en su interior. Su piel es casi siempre brillante y lisa.

- Tamaño y peso: las manzanas más comercializadas son aquellas cuyo calibre va desde los 75 milímetros hasta los 85 o más. Y su peso oscila desde 170 gramos hasta 250 gramos.
- Color: los diferentes colores de la piel hacen que se diferencien las frutas en cuatro grupos: verdes, rojas, amarillas y bicolors. Todas ellas con sabores, aromas y calidad de su carne diferentes.
- Sabor: la pulpa puede ser dura o blanda, pero siempre refrescante y jugosa, y su sabor va desde el muy dulce al muy ácido pasando por toda una mezcla de gustos acidulados y azucarados. La carne es más o menos aromática según la variedad.

Propiedades nutritivas:

- Desde el punto de vista nutritivo la manzana es una de las frutas más completas y enriquecedoras en la dieta. Un 85% de su composición es agua, por lo que resulta muy refrescante e hidratante. Los azúcares, la mayor parte fructosa (azúcar de la fruta) y en menor proporción, glucosa y sacarosa, de rápida asimilación en el organismo, son los nutrientes más abundantes después del agua.
- Es fuente discreta de vitamina E o tocoferol y aporta una escasa cantidad de vitamina C. Es rica en fibra, que mejora el tránsito intestinal y entre su contenido mineral sobresale el potasio. La vitamina E posee acción antioxidante, interviene en la estabilidad de las células sanguíneas como los glóbulos rojos y en la fertilidad.
- El potasio, es un mineral necesario para la transmisión y generación del impulso nervioso y para la actividad muscular normal, interviene en el equilibrio de agua dentro y fuera de la célula.
- Las extraordinarias propiedades dietéticas que se le atribuyen a esta fruta se deben en gran medida a los elementos fitoquímicos que contiene, entre ellos, flavonoides y quercitina, con propiedades antioxidantes.

Las propiedades antioxidantes de la manzana se deben a los elementos fitoquímicos que contiene, más abundantes en la piel, en concreto, polifenoles (quercitina, flavonoides). Los antioxidantes neutralizan los radicales libres, reduciendo o incluso evitando parte de los daños que estos provocan en el organismo. Los radicales libres aumentan las peligrosas acciones del colesterol LDL, que puede dar lugar a la formación de aterosclerosis, al acumularse en los vasos sanguíneos; pueden producir una alteración genética y dañar proteínas y grasas corporales, reduciendo la funcionalidad de las células y contribuyendo a aumentar el riesgo de cáncer. Por tanto, dada su composición en sustancias antioxidantes, las manzanas están especialmente recomendadas en dietas de prevención de riesgo cardiovascular, enfermedades degenerativas y cáncer.

El contenido moderado en potasio de las manzanas las convierte en una fruta diurética, recomendada en el tratamiento dietético de diversas enfermedades cardiovasculares, como la hipertensión arterial u otras enfermedades asociadas a retención de líquidos. No obstante, el aporte de este mineral está restringido en caso de insuficiencia renal por lo que el consumo de manzanas en estos casos se ha de tener en cuenta.

Además, la manzana es, después del membrillo, una de las frutas más ricas en taninos, sustancias con propiedades astringentes y antiinflamatorias.

Algunas de las acciones de los taninos son secar y desinflamar la mucosa intestinal (capa que tapiza el interior del conducto digestivo), por lo que resultan eficaces en el tratamiento de la diarrea. Los taninos se reconocen rápidamente por la sensación áspera que producen al paladar. No obstante, los taninos aparecen cuando se deja oscurecer la pulpa rallada de una manzana pelada.

El ácido oxálico que contiene la manzana puede formar sales con ciertos minerales como el calcio y formar oxalato cálcico, por lo que su consumo se ha de tener en cuenta si se padecen este tipo de cálculos renales, ya que se podría agravar la situación. No obstante, gran parte de dicho ácido se pierde mediante el cocinado (<http://www.alimentacionsana.com.ar/informaciones/novedades/manzana.htm>).

Cuadro 2. Principales valores nutricionales de la manzana por cada 100 g.

Energía 59 Kcal	
Agua	84%
Carbohidratos	15 g
Proteínas	0.19 g
Fibras	2.7 g
Lípidos	0.4 g
Potasio	115 mg
Calcio	7 mg
Fósforo	7 mg
Magnesio	5 mg
Azufre	5 mg
Hierro	0.18 mg
Vitamina B3 (Niacina)	0.17 mg
Vitamina A	53 U.I
Vitamina E	0.4 mg

Fuente: Base de datos de nutrientes (USDA)

2.2.2.9. Guayaba (*Psidium guajava*)

Las guayabas (*Psidium* spp.) son un género de unas cien especies de arbustos tropicales y árboles pequeños en la familia Myrtaceae, nativas del Caribe, América Central, América del Norte y el norte de Sudamérica. Las hojas son contrarias, simples, elípticas a ovaladas, de 5 a 15 centímetros de largo. Las flores son blancas, con cinco pétalos y numerosos estambres.



La fruta es comestible, redonda o en forma de pera, entre 3 a 10 cm de diámetro (hasta 12 cm en cultivos selectos). Tiene una corteza delgada y delicada, color verde pálido a amarillo en la etapa madura en algunas especies, rosa a rojo en otras, pulpa blanca cremosa o anaranjada con muchas semillitas duras y un fuerte aroma característico. Es rica en vitaminas A, B y C, además tiene beneficios nutritivos ya que su pulpa es considerada acida beneficiando a bajar los niveles de colesterol malo.

Su principal componente es el agua y Vitaminas (más de 16 distintas) entre la que se destaca con niveles muy elevados la Vitamina C (en algunas variedades puede ser el equivalente al zumo de 4 a 5 naranjas), también está presente la provitamina A pero en menor proporción que la Vitamina C; en cuanto a los minerales tiene un elevado índice de Potasio y en menor grado magnesio, Calcio, Fósforo y Hierro; también aporta fibras fundamentales para una buena evacuación intestinal.

Cuadro 3. Principales valores nutricionales de la guayaba por cada 100 g

Energía 43.24 calorías	
Agua	78%
Carbohidratos	10.4 g
Proteínas	0.9 g
Fibra bruta	8.5 g
Lípidos	0.4 g
Vitaminas: A, B1, B, C Y G4	
<i>Fuente: Base de datos de nutrientes (USDA)</i>	

Las variedades más destacadas son La *Rojo Africano*, *Puerto Rico*, *Trujillo*, *Extranjero*, estas se clasifican en función al país de origen, su peso y el color de su pulpa (blanca o roja) (<http://www.euroresidentes.com/Alimentos/definiciones/guayaba.htm>).

2.2.2.10. Zarzamora (*Rubus ulmifolius*)



La zarza, zarzamora o mora (*Rubus ulmifolius*) es un arbusto de aspecto sarmentoso, cuyas ramas, espinosas y de sección pentagonal, pueden crecer hasta 3 metros. Pertenece a la familia de las rosáceas y es popularmente conocido por sus frutos, un tipo de moras conocido como zarzamora o mora.

Tiene hojas imparipinnadas, compuestas por 3 ó 5 folíolos peciolulados, de forma elíptica ovada u obovada, con borde dentado o

aserrado, de color verde oscuro por el haz y blanco-tomentoso por el envés.

Las flores son blancas o rosadas, de 5 pétalos y 5 sépalos. Nacen en racimos, dando lugar a inflorescencias de forma oblonga o piramidal. Los sépalos son grises o tomentoso-blanquecinos. El color de los pétalos varía desde el blanco al rosa, tienen de 10 a 15 mm y son de forma ovada.

Su fruto llamada zarzamora o mora es comestible. Desde el punto de vista botánico está formada por muchas pequeñas drupas arracimadas y unidas entre sí (multidrupa), de color roja transformándose en negra al madurar.

Es una planta muy invasiva y de crecimiento rápido que también puede multiplicarse vegetativamente generando raíces desde sus ramas. Puede colonizar extensas zonas de bosque, monte bajo, laderas o formar grandes setos en un tiempo relativamente corto.

Es frecuente en setos y ribazos y su distribución original abarca casi toda Europa, el norte de África y el sur de Asia. También ha sido introducida en América y Oceanía, con efectos muy negativos como maleza; por ejemplo en Chile, es considerada una especie invasora.

Su nombre científico deriva del latín "ruber" (rojo), por el color de sus frutos y el epíteto específico hace referencia al parecido de sus folíolos con las hojas del olmo (*Ulmus minor*) (*world food science*. http://www.madrimasd.org/cienciaysociedad/ateneo/dossier/alimentos_funcionales/worldfoodscience/alimentosfuncionales.htm).

2.2.2.11. Fresa (*Fragaria vesca*)



Las fresas y los fresones pertenecen a la familia *Rosaceae* y al género *Fragaria*.

La planta de fresón es de tipo herbáceo y perenne. El sistema radicular es fasciculado, se compone de raíces y raicillas.

Las primeras presentan cambium vascular y suberoso, mientras que las segundas carecen de éste, son de color más claro y tienen un periodo de vida corto, de algunos días o semanas, en tanto que las raíces son perennes. Las raicillas sufren un proceso de renovación fisiológico, aunque influenciado por factores ambientales, patógenos de suelo, etc., que rompen el equilibrio. La profundidad del sistema radicular es muy variable, dependiendo entre otros factores, del tipo de suelo y la presencia de patógenos en el mismo. En condiciones óptimas pueden alcanzar los 2-3 m, aunque lo normal es que no sobrepasen los 40 cm, encontrándose la mayor parte (90%) en los primeros 25 cm.

El tallo está constituido por un eje corto de forma cónica llamado “corona”, en el que se observan numerosas escamas foliares. Las hojas aparecen en roseta y se insertan en la corona. Son largamente pecioladas y provistas de dos estípulas rojizas. Su limbo está dividido en tres folíolos pediculados, de bordes aserrados, tienen un gran número de estomas (300-400/mm²), por lo que pueden perder gran cantidad de agua por transpiración. Las inflorescencias se pueden desarrollar a partir de una yema terminal de la corona, o de yemas axilares de las hojas.

La ramificación de la inflorescencia puede ser basal o distal. En el primer caso aparecen varias flores de porte similar, mientras que en el segundo hay una flor terminal o primaria y otras secundarias de menor tamaño. La flor tiene 5-6 pétalos, de 20 a 35 estambres y varios cientos de pistilos sobre un receptáculo carnoso. Cada óvulo fecundado da lugar a un fruto de tipo aquenio. El desarrollo de los aquenios, distribuidos por la superficie del receptáculo carnoso, estimula el crecimiento y la coloración de éste, dando lugar al “fruto” del fresón.

Lo que se consume de esta planta es un eterio de color rojo, dulce, ácido y aromático, un engrosamiento del receptáculo floral cuya función es contener dentro de sí los frutos verdaderos de la planta, pequeños aquenios de color oscuro que en número de entre 150 y 200 se alojan en cada fruto. En realidad, cada fresa no es una fruta sino un racimo de frutas de hueso muy pequeño. Una taza (100 g) de fresas contiene aproximadamente 34,5 calorías y es una excelente fuente de vitamina C y vitamina P o bioflavonoides (http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tradicionales/fresas.htm).

Cuadro 4. Principales valores nutricionales de la fresa por cada 100 g

Energía 34.5 Cal	
Agua	85%
Hidratos de carbono	7 g
Fibra	2.2 g
Potasio	150 mg
Magnesio	13 mg
Calcio	30 mg
Vitamina C	60 mg
Folatos	62 µg
Vitamina E	0.2 mg

Fuente: Base de datos de nutrientes (USDA)

2.2.2.12. Chile pimiento (*Capsicum annuum*)



El pimiento proviene de Sudamérica y es pariente de la patata, la berenjena, el tomate y el tabaco. Esta hortaliza fue conocida en Europa en la primera mitad del siglo XVI, habiendo sido traída a España por Cristóbal Colón. Es una especie con

más de cincuenta variedades, que van desde el pequeño chile picante, hasta el grande y dulce pimiento en forma de campana. Pueden ser de color verde, rojo, amarillo, marfil y morado. Entre los picantes destacan los chiles que, secos y molidos, dan lugar a la cayena o pimienta roja. En Centroamérica son muy apreciados los pimientos de Tabasco, de sabor fuertemente picante. En España destacan los pimientos de piquillo (ideales para rellenar), los pequeños y verdes pimientos de Padrón (dulces o picantes) y las ñoras, pimientos secos que se emplean en la elaboración de salsas como el romesco.

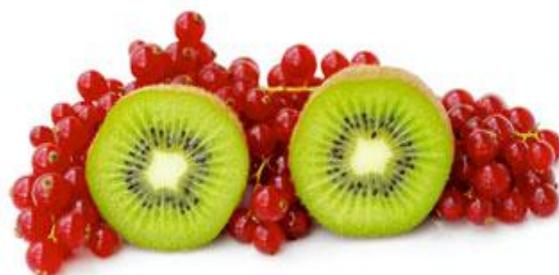
El aporte calórico a la dieta es de 27 calorías por cada 100 gramos. Su contenido en vitaminas es muy alto, sobre todo en la C, que triplica al de los cítricos. Tiene también un alto contenido en fibra vegetal, pigmentos y sustancias minerales.

Por su riqueza en vitamina C, el pimiento es muy indicado en la fase de convalecencia de diversas enfermedades, siendo útil en la prevención de enfermedades infecciosas, sobre todo de origen vírico. La baja cantidad de calorías que aporta a la dieta y su escaso contenido de hidratos de carbono lo convierten en un alimento adecuado en la dieta de los obesos y los diabéticos. Sea rojo o verde, resulta muy adecuado para aquellas personas que padezcan del estómago o del intestino. Además los pimientos contienen capsacina, un estimulante de la circulación que alimenta el ritmo cardíaco y estimula la sudoración. Los pimientos dulces también facilitan la

digestión y por esta razón se suelen usar en las comidas pesadas como los currys y los picantes platos mexicanos (http://perso.wanadoo.es/recetasdecocina/alimentos_de_la_cocina/pimiento.html).

2.3 Antioxidantes

Se trata de un grupo de vitaminas, minerales, colorantes naturales y otros compuestos de vegetales y enzimas (sustancias propias de nuestro organismo que intervienen en múltiples procesos metabólicos), que



bloquean el efecto perjudicial de los denominados radicales libres; es decir, los antioxidantes son sustancias que pueden retrasar o reducir el comienzo de oxidación de las sustancias autooxidables (Bracco U, *et al.*, 1981).

Definidos por el Código Alimentario como aquellas sustancias que por separado o mezcladas entre sí, pueden utilizarse para impedir o retardar, en los alimentos y bebidas, las oxidaciones catalíticas y procesos que llevan a enranciamientos naturales provocados por la acción del aire, luz o indicios metálicos.

De una manera más breve también se pueden definir como los aditivos que se usan para conservar los alimentos retrasando el deterioro, que puede llegar a la rancidez o la decoloración, debida a la oxidación.

Se pueden encontrar clasificados por antioxidantes:

- Naturales
- Artificiales

- Otras sustancias sinérgicas o agentes quelantes

Los componentes de los alimentos más susceptibles a la alteración por oxidación son los aceites y las grasas compuestas por lípidos saponificables. Los más representativos de este grupo son los triglicéridos, formados por una reacción de esterificación entre la glicerina y diferentes ácidos grasos, pudiendo obtener mono, di y triglicéridos, según el grado de esterificación.

La mayoría de productos grasos tienen sus propios antioxidantes naturales, aunque muchas veces estos se pierden durante el procesado industrial y han de ser aportados de nuevo.

Las grasas vegetales son en general más ricas en sustancias antioxidantes que las animales. Por otra parte, la tendencia a aumentar en la dieta el consumo de grasas insaturadas, como una forma de prevención de las enfermedades coronarias, hace más necesario el uso de antioxidantes, ya que las grasas insaturadas son mucho más sensibles a las reacciones de oxidación.

Los antioxidantes pueden actuar por medio de diferentes mecanismos:

- Deteniendo la reacción en cadena de oxidación de las grasas.
- Eliminando el oxígeno atrapado o disuelto en el producto, o en el espacio de cabeza de los envases.
- Eliminando las trazas de ciertos metales, como el cobre o el hierro, que facilitan la oxidación.

Los antioxidantes frenan la reacción de oxidación, pero acostan de inactivarse ellos mismos. El resultado es que la utilización de antioxidantes retrasa la alteración oxidativa del alimento, pero no la evita de una forma definitiva (Cubero, *et al.*, 2002).

La mayoría de los antioxidantes utilizados en la actualidad, son compuestos fenólicos (Sherwin E, 1976). Los tres antioxidantes fenólicos aprobados para uso en las grasas son el hidroxianisol butilado (BHA), hidroxitolueno butilado (BHT) y el propil galato.

Muchos antioxidantes son naturales, como el *ácido ascórbico* (vitamina C), los *tocoferoles* (vitamina E), el *ácido cítrico*, las *aminas* y algunos *compuestos fenólicos*. Los antioxidantes sintéticos más utilizados son BHA (butil hidroxianisol), BHT (butil hidroxitolueno), TBHQ (*ter*-butil hidroquinona) y *galato de propilo*. Estos cuatro antioxidantes pueden ser usados solos o en combinación con otros u otros de los aditivos para controlar la oxidación. Se pueden usar para prevenir la oxidación en los alimentos con grasa (hasta 0.02% de grasa) o en alimentos envasados, tales como granos de cereales enteros en cajas.

Muchos fabricantes de productos cárnicos añaden ascorbato sódico o eritorbato sódico (ácido eritorbico) a la carne curada para mantener el color de la carne procesada e inhibir la producción de nitrosaminas a partir de nitritos. (Los nitritos son antioxidantes que también se usan como agentes de curado). El ácido etilendiaminotetracético (EDTA) se puede usar como antioxidante o con otros propósitos en los alimentos (Vaclavik A, 2002).

Las etiquetas de los recipientes de margarina y de muchas galletas indican la presencia de uno o más de estos antioxidantes. Los compuestos flavonoides con un mínimo de dos grupos hidroxilo en la posición *orto* (en los carbonos adyacentes) o en la posición *para* (en los carbonos apuestos a cada uno), son buenos antioxidantes. Muchos aceites derivados de las semillas de vegetales contienen tocoferoles, presentes por la naturaleza como antioxidantes. Los isómeros delta o gamma son antioxidantes más efectivos que los de la forma alfa, que es el biológicamente más potente. Los aceites vegetales se conservan

también a temperatura ambiente, debido a la presencia de este antioxidante natural.

Una molécula de este antioxidante funciona reemplazando un ácido graso insaturado como la fuente del hidrogeno lábil para unirse a una radical libre o a un peróxido activado. La molécula del antioxidante se oxida en lugar de la del ácido graso. En el proceso, el antioxidante extrae la energía que de otra forma estaría disponible para la formación de un nuevo radical libre de ácido graso y lo que perpetuaría la reacción en cadena que se presenta en la autooxidación de las grasas.

La efectividad de un antioxidante se puede aumentar utilizándolo junto con otro. Una combinación de hidroxianisol butilado y propil galato, es más efectiva que la suma de la efectividad de ambos, utilizados en forma separada. El uso de antioxidantes y sinergistas en alimentos que contienen grasas son responsables de mejorar la calidad de conservación de muchos alimentos (Charley H, 2006).

2.3.1 La importancia de los antioxidantes

La importancia de los antioxidantes presentes en los alimentos radica en que son capaces de preservar a los alimentos que los contienen y en el aporte *in vivo* de antioxidantes esenciales. Existe un número creciente de datos experimentales, clínicos y epidemiológicos que demuestran los efectos beneficiosos de los antioxidantes frente a las enfermedades degenerativas inducidas por el estrés oxidativo y las enfermedades relacionadas con la edad (cáncer y envejecimiento) por lo que se ha generado un gran interés hacia el papel que ejercen los antioxidantes.

El ser humano está protegido del estrés oxidativo gracias a la acción de varios antioxidantes que poseen diferentes funciones. Algunos son enzimas y proteínas y otros son pequeñas moléculas antioxidantes. Los alimentos son importantes fuentes de tales

antioxidantes, componentes y elementos traza. Además, se han desarrollado una gran cantidad de antioxidantes sintéticos y algunos de ellos se han empleado en la práctica como, por ejemplo, ciertos aditivos alimentarios, suplementos y fármacos. Los compuestos fenólicos, como la vitamina E y los flavonoides, son antioxidantes. También se han sintetizado numerosos compuestos fenólicos: uno de los más populares antioxidantes sintéticos es el 2,6-di-tert-butil-4-metilfenol, conocido como BHT. Sin embargo, suele asumirse que los antioxidantes naturales son más potentes, eficaces y seguros que los sintéticos. Por ejemplo, el α -tocoferol es la forma más activa de la vitamina E y el producto natural 2R, 4' R', 8' R- α -tocoferol es más potente que la mezcla racémica sintética, principalmente porque la proteína de transporte del α -tocoferol reconoce selectivamente al compuesto natural. Al ser compuesto de origen natural también son más favorablemente aceptados por los consumidores que los sintéticos (Pokorny J, *et al.*, 2005).

2.3.2 Sistema Antioxidante

Antioxidantes primarios. Conformado por súper oxido dismutasa, catalasa, glutatión peroxidasa, ceruloplasmina, transferrina, ferritina previenen la formación de nuevas especies de radicales libres (De Rosa, 1998).

Antioxidantes secundarios. Incluyen vitamina E, vitamina C, polifenoles, beta-caroteno, ácido úrico, bilirrubina, albúmina, los cuales, remueven los radicales libres recién formados, antes de que puedan iniciar la cadena de reacciones. Esas cadenas de reacciones pueden encabezar el daño a la célula y la formación de radicales libres (Halliwell y Gutteridge, 1990).

Antioxidantes terciarios. Constituido por enzimas reparadoras del ADN, como metionina sulfoxido reductasa, que reparan las estructuras

celulares dañadas por el ataque de los radicales libres (Rodríguez, *et al.*, 2001).

2.3.3 Características de algunos antioxidantes primarios frecuentemente usados

Tocoferoles: Los tocoferoles son los antioxidantes más ampliamente distribuidos en la naturaleza y los más importantes de los que naturalmente contienen los aceites vegetales. Se conocen ocho estructuras de tocoferol, todas ellas son derivados metilados del tocol. Los tocoferoles predominantes en los aceites vegetales son el 5, 7,8-trimetil-, el 7,8-dimetil- y el 8-metiltocol.

Como antioxidante los tocoferoles ejercen su eficacia máxima a concentraciones relativamente bajas, aproximadamente iguales a las que ofrecen en los aceites vegetales. Si se añaden a concentraciones más altas pueden actuar como prooxidantes. En general, los tocoferoles con mayor actividad vitamina E son los menos eficaces como antioxidantes. El orden de actividad antioxidante es $\delta > \gamma > \beta > \alpha$. Sin embargo, la actividad relativa de estos compuestos se ve significativamente influida por la temperatura y la iluminación.

Goma de guayaco: La goma de guayaco es el exudado resinoso de un árbol tropical. Su eficacia antioxidante, debida fundamentalmente a su elevado contenido en ácidos fenólicos, es mayor en las grasas animales que en los aceites vegetales. La goma de guayaco tiene un color rojizo oscuro, es escasamente soluble en la grasa y a veces produce olores indeseables.

Tanto el *hidroxianisol butilado* (BHA), comercialmente disponible como una mezcla de dos isómeros, como el *hidroxitolueno butilado* (BHT) son muy utilizados en la industria alimentaria. Ambos son muy solubles en las grasas y exhiben escasa actividad antioxidante en los

aceites vegetales, especialmente en los que son ricos en antioxidantes naturales.

El ácido nordihidroguayaretico (NDGA) se extrae de una planta del desierto, *Larrea divaricata*. Tiene una solubilidad limitada en las grasas (0.5-1%), pero su solubilidad aumenta mucho al calentarla. La actividad antioxidante del NDGA se ve muy afectada por el pH y se destruye muy fácilmente en condiciones muy alcalinas.

Los galatos de alquilo y ácido gálico exhiben considerablemente actividad antioxidante. El ácido gálico es soluble en agua, pero casi totalmente insoluble en grasas. El galato de propilo es el más usado en los Estados Unidos. Es eficaz contra la oxidación del linoleato catalizada por la lipooxigenasa.

Butilhidroquinona terciaria (TBHQ). La TBHQ es moderadamente soluble en las grasas y escasamente soluble en agua. En muchos casos, es más eficaz que el resto de los antioxidantes ordinarios como protectora de los aceites poliinsaturados, refinados o no, contra la autooxidación y no plantea problemas de color o de cambios de flavor.

La 2, 4,5-*trihidroxibutirofenona* (THBP) y los galatos tienen propiedades antioxidantes similares.

El 4-*hidroximetil-2,6-di-terbutilfenol* se produce sustituyendo un hidroxilo del grupo metilo de la BHT por un hidrogeno. Es, por ello menos volátil que la BHT, pero se comporta de un modo similar como antioxidante (Fennema, 2000).

2.4 Antioxidantes Naturales

Presentes en la mayoría de los alimentos vegetales, bloquean el efecto perjudicial de los radicales libres. Los medios de información insisten en las virtudes de productos alimenticios enriquecidos con

vitaminas y sus posibles beneficios para la salud, alabando su papel en la lucha contra la "oxidación" del organismo, ante ciertas enfermedades y frente al envejecimiento. Hoy, la nutrición y la dietética no sólo se ocupan de los componentes de los alimentos que aportan beneficios nutritivos: proteínas, grasas, hidratos de carbono, vitaminas y minerales. Otras sustancias, con propiedad antioxidante, ejercen también un saludable efecto en nuestro organismo.

Cuadro 5. Lista de alimentos que contienen antioxidantes

Antioxidantes	Alimentos
<p>Allicina. Sustancia que le da al ajo su aroma y sabor. Científicos israelíes del Weizmann Institute han conseguido eliminar tumores malignos en ratones a partir de esta sustancia que se encuentra en el ajo.</p>	<p>Ajo</p>
<p>Ácido elágico. Con propiedades antioxidantes y hemostáticas. En algunos países se utiliza como suplemento alimentario atribuyéndole propiedades antitumorales.</p>	<p>Frutillas: Fresas, Frambuesas, Cerezas, Uvas, Kiwis, Arándanos, Bayas</p>
<p>Antocianos. Grupo de pigmentos flavonoides hidrosolubles (glucósidos) que están en solución en las vacuolas de las células vegetales de frutos, flores, tallos y hojas.</p>	<p>Uva, Cerezas, Kiwis, ciruelas</p>
<p>Capsicina. Poderoso antioxidante, investigaciones recientes han revelado que podría desnutrir las células cancerígenas antes de que éstas causen ningún tipo de problemas.</p>	<p>Pimientos, Chiles, Ajíes, Cayena</p>
<p>Carotenoides. Los alfa y beta carotenos son precursores de la vitamina A y actúan como nutrientes antioxidantes. Son los únicos carotenoides que se transforman en cantidades apreciables de vitamina A.</p>	<p>Zanahoria, Tomate, Naranja, Papaya, Lechuga, espinacas</p>
<p>Catequinas. El té verde según las últimas investigaciones es clave por su alto contenido en catequinas y polifenoles, que actúan como antioxidantes y activadores del metabolismo.</p>	<p>Té verde, Cacao</p>

Algunos minerales. Cinc, cobre, azufre, selenio y manganeso, para la piel y buenos antioxidantes en general, el cinc puede llegar a ser hasta afrodisiaco según algunas fuentes.	Gérmenes de trigo, levadura de cerveza, cangrejo, pipas calabaza o girasol, ostras, carne, legumbres, Frutos secos, cereales, cacao
Compuestos sulfurados compuestos órgano-sulfurados que inhiben la carcinogénesis química inducida provocada por algunas sustancias.	Ajo, cebolla, puerro, cebolletas, chalotes
Coenzima Q. Antioxidante, pieza clave del metabolismo celular.	Carne, vísceras, pescado, sardinas, cacao
Hesperidina también con acción diurética y antihipertensiva de la hesperidina	Cítricos, naranja
Isotiocianatos. Suprimen el crecimiento de tumores mediante el bloqueo de enzimas.	Coles, brécol, calabaza, mostaza, nabos, berros
Isoflavonas. Se relacionan como aliado contra enfermedades cardiovasculares, osteoporosis y de cánceres dependientes de hormonas como el de mama.	Soja y derivados. En mucha menor cantidad: té verde, guisantes, lentejas, garbanzos, cacahuetes
Licopeno. Responsable del característico color rojo de los tomates.	Tomate (casi en exclusiva)
Quercetina. Potente antioxidante, encontrado en una gran variedad de frutas y vegetales.	Uvas, cebolla roja, brécol, toronja, manzanas, cerezas, te verde, vino tinto
Taninos. Muy potentes para limpiar nuestras arterias (consumo moderado de vino tinto).	Vino tinto, uvas, lentejas
Zeaxantina agudeza visual.	Maíz, espinacas, calabaza
Vitamina C Junto de la vitamina E los dos clásicos con muy potente capacidad antioxidante.	Kiwi, cítricos, piña, tomates, brécol, alfalfa germinada, pimientos, espinacas

Vitamina E. Clásico antioxidante que protege a las células de agresiones externas del tipo: contaminación, pesticidas, humo del tabaco.	Aguacate, nueces, aceites vegetales, germen de trigo, cereales
--	---

Fuente: http://www.industriaalimenticia.com/Archives_Davinci?article=1310

2.4.1 Antioxidantes en los vegetales

Estudios epidemiológicos han demostrado que el consumo de verduras y frutas disminuye el riesgo de padecer cáncer y enfermedades cardiovasculares (Block G, *et al.*, 1992). Se ha estudiado la actividad antioxidante de los tubérculos y las plantas tuberosas (zanahoria, patata, boniato, remolacha de mesa, entre otras), las crucíferas (repollo, coles de Bruselas, brócoli, entre otras), las verduras de hoja verde (lechuga, espinaca, entre otras), cebollas, tomates y otras verduras, usando diferentes sistemas de oxidación. Las diferentes técnicas de medida, así como diferencias en los métodos de extracción de los constituyentes antioxidantes, hacen que las mediciones de la actividad antioxidante de las verduras sean muy variables.

Varios estudios sobre la evaluación de la capacidad antioxidante en frutos han revelado aspectos interesantes en relación al comportamiento de los constituyentes antioxidantes. Eberhardt *et al.* (2000) en un estudio realizado en manzanas, demostraron que la vitamina C por sí sola aporta menos del 0.4 % de la actividad antioxidante total del fruto, sugiriendo que la mezcla compleja de antioxidantes en las frutas proporcionan beneficios sobre la salud, principalmente a través de la combinación de efectos aditivos y/o sinérgicos.

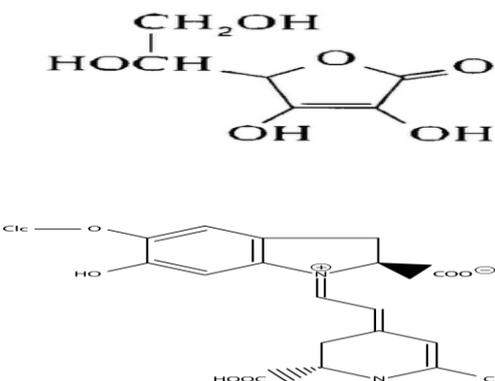
La actividad antioxidante ha sido reportada (Wu, *et al.*, 2004; Rivera-López, *et al.*, 2005) como capacidad antioxidante total (CAT), que corresponde a la suma de antioxidantes lipofílicos (L-ORAC, L) y

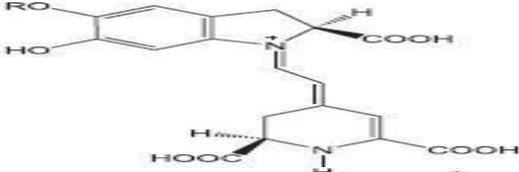
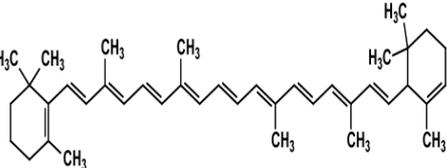
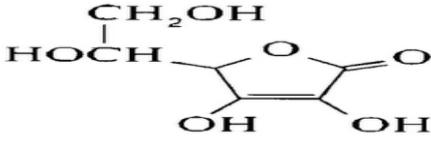
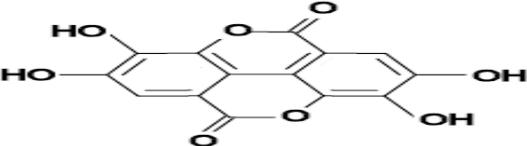
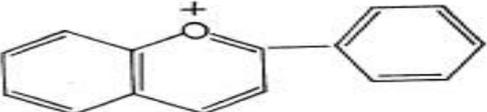
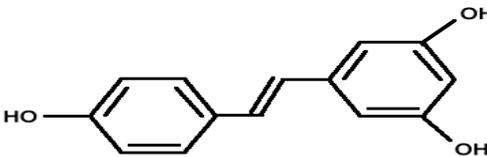
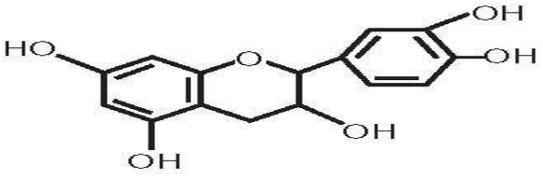
antioxidantes hidrofílicos (H-ORAC, H). Destacan entre estos frutos el mango y el plátano, con los valores más altos de CAT (10,02 y 8,79 $\mu\text{mol ET/g}$, respectivamente).

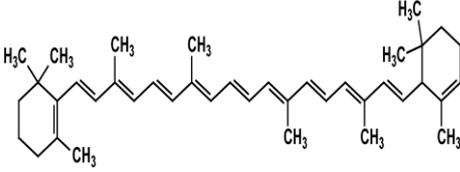
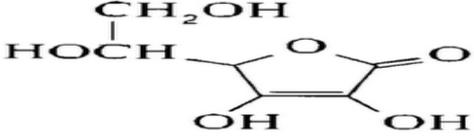
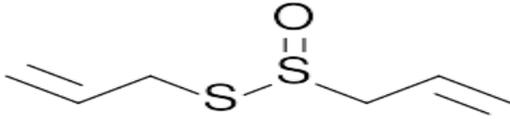
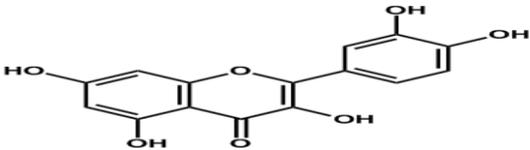
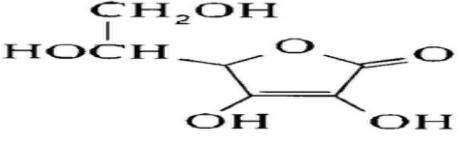
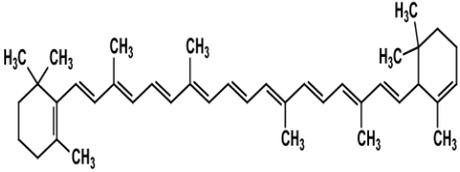
Cao, *et al.*, (1996) y Wang, *et al.*, (1996) realizaron estudios en frutas y hortalizas, demostrando que la mayor parte de la actividad antioxidante proviene principalmente del contenido de flavonoides y otros compuestos fenólicos.

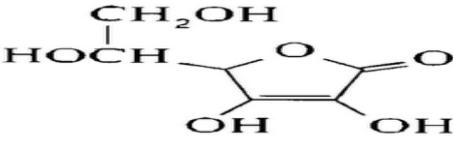
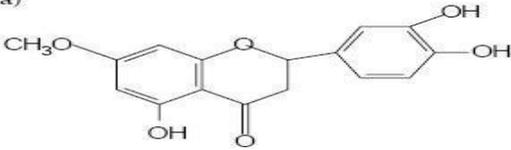
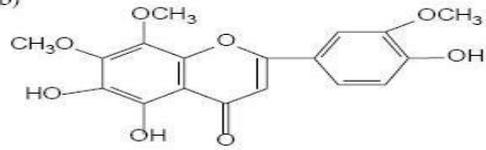
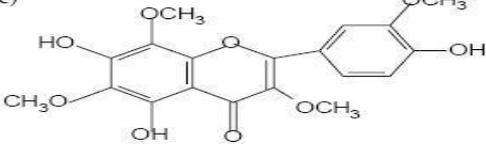
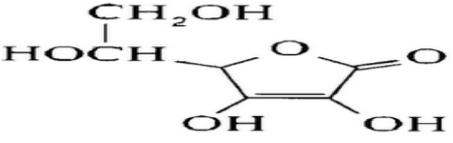
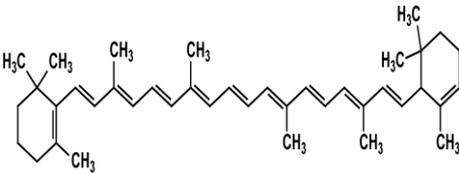
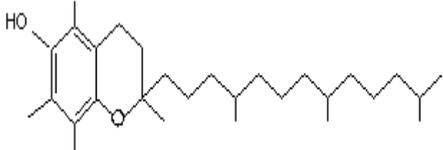
La capacidad antioxidante de frutas y hortalizas puede ser influenciada por factores genéticos, así como por el medio ambiente, Prior *et al.* (1998) encontraron diferencias de hasta 3.3 veces entre especies y cultivares de arándano y fresa. También encontraron diferencias de 2.6 y hasta 10 veces en la capacidad antioxidante entre cultivares de espinaca, pimiento verde y brócoli, respectivamente. Esta variabilidad entre hortalizas puede ser explicada por la influencia de la especie y el cultivar.

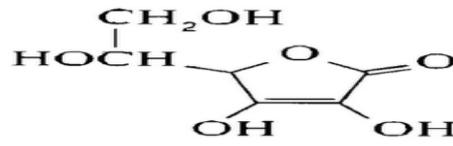
Cuadro 6. Principales moléculas antioxidantes de cada vegetal.

Especie Vegetal	Moléculas Antioxidantes
Betabel (<i>Beta vulgaris</i>)	<div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: right;"> <i>Vitamina C</i> <i>(Ácido ascórbico)</i> </p> <p style="text-align: right;"> <i>Betalainas</i> </p>

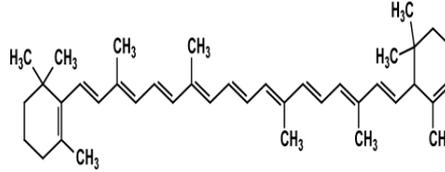
	 <p style="text-align: right;"><i>Betacyaninas</i></p>
<p>Papaya (<i>Carica papaya</i>)</p>	 <p style="text-align: right;"><i>Vitamina A (β-caroteno)</i></p>  <p style="text-align: right;"><i>Vitamina C (Ácido ascórbico)</i></p> <p style="text-align: right;"><i>*Magnesio (Mg)</i></p>
<p>Uva (<i>Vitis vinífera</i>)</p>	 <p style="text-align: right;"><i>Ácido elágico</i></p>  <p style="text-align: right;"><i>Antocianina</i></p>  <p style="text-align: right;"><i>Resveratrol</i></p>  <p style="text-align: right;"><i>Taninos</i></p>

	 <p>Vitamina A (β-caroteno)</p>  <p>Vitamina C (Ácido ascórbico)</p> <p>*Magnesio (Mg) *Zinc (Zn) *Cobre (Cu)</p>
<p>Ajo (<i>Allium sativum</i>)</p>	 <p>Alicina</p>  <p>Quercetina</p>  <p>Vitamina C (Ácido ascórbico)</p> <p>*Magnesio (Mg) *Zinc (Zn) *Selenio (Se)</p>
<p>Cebolla (<i>Allium cepa</i>)</p>	 <p>Vitamina A (β-caroteno)</p>

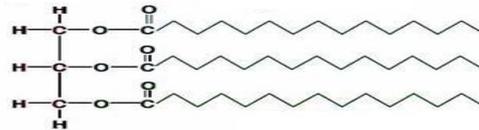
	<div style="text-align: center;">  <p><i>Vitamina C</i> (Ácido ascórbico)</p> </div> <div style="margin-top: 20px;"> <p>a)</p>  <p><i>Flavonona</i></p> </div> <div style="margin-top: 20px;"> <p>b)</p>  <p><i>Flavona</i></p> </div> <div style="margin-top: 20px;"> <p>c)</p>  <p><i>Flavonol</i> *Azufre (S) *Selenio (Se)</p> </div>
<p>Calabacita (Cucúbita pepo)</p>	<div style="text-align: center;">  <p><i>Vitamina C</i> (Ácido ascórbico)</p> </div> <div style="margin-top: 20px;">  <p><i>Vitamina A (β-caroteno)</i></p> </div>
<p>Aguacate (Persea americana)</p>	<div style="text-align: center;">  <p><i>Vitamina E (α-tocoferol)</i></p> </div>



Vitamina C
(Ácido ascórbico)



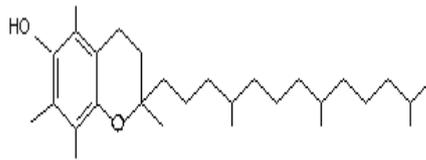
Vitamina A (β -caroteno)



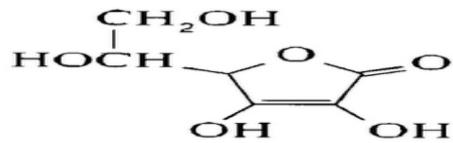
Ácidos graso

*Magnesio (Mg)

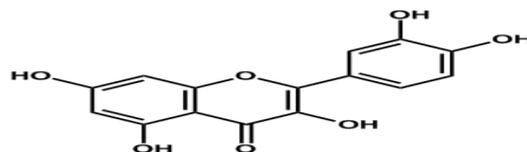
Manzana
(*Malus domestica*)



Vitamina E (α -tocoferol)



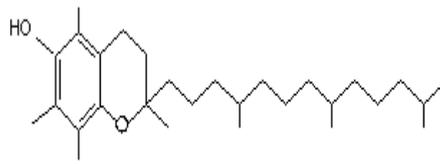
Vitamina C
(Ácido ascórbico)



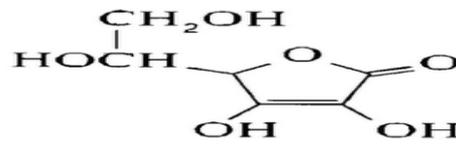
Quercetina

	<div data-bbox="638 235 1165 380" data-label="Chemical-Block"> </div> <p data-bbox="1173 369 1268 398"><i>Taninos</i></p> <div data-bbox="670 470 1149 616" data-label="Chemical-Block"> </div> <p data-bbox="1173 593 1332 622"><i>Flavonoides</i></p> <div data-bbox="654 694 1181 828" data-label="Chemical-Block"> </div> <p data-bbox="1204 840 1380 869"><i>Ácidos grasos</i></p> <p data-bbox="1189 929 1380 963"><i>*Magnesio (Mg)</i></p> <p data-bbox="1173 974 1308 1008"><i>*Azufre (S)</i></p>
<p data-bbox="406 1064 526 1198">Guayaba <i>(Psidium guajava)</i></p>	<div data-bbox="678 1064 1117 1220" data-label="Chemical-Block"> </div> <p data-bbox="1125 1198 1332 1276"><i>Vitamina C</i> <i>(Ácido ascórbico)</i></p> <div data-bbox="638 1377 1101 1556" data-label="Chemical-Block"> </div> <p data-bbox="1109 1534 1396 1568"><i>Vitamina A (β-caroteno)</i></p> <div data-bbox="654 1680 1149 1814" data-label="Chemical-Block"> </div> <p data-bbox="1173 1825 1332 1859"><i>Ácidos graso</i></p> <p data-bbox="1141 1915 1332 1948"><i>*Magnesio (Mg)</i></p>

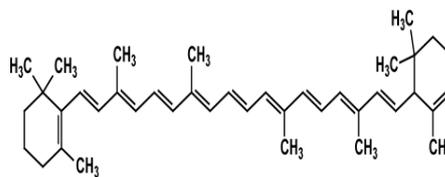
Zarzamora
(*Rubus*
ulmifolius)



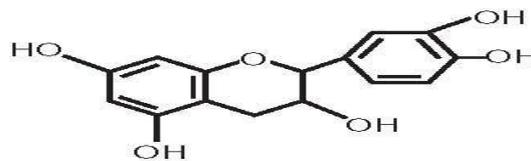
Vitamina E (α-tocoferol)



Vitamina C
(*Ácido ascórbico*)



Vitamina A (β-caroteno)



Taninos

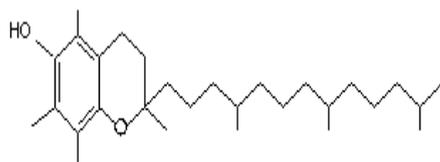
**Manganeso (Mg)*

**Selenio (Se)*

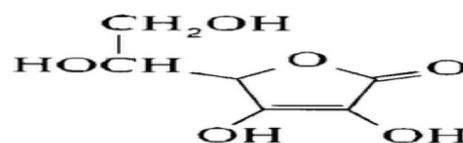
**Zinc (Zn)*

**Cobre (Cu)*

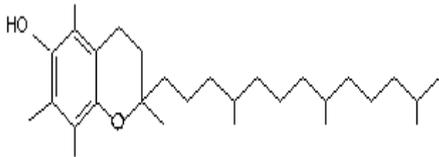
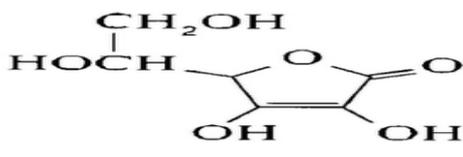
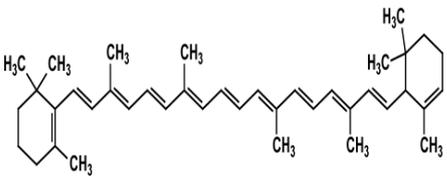
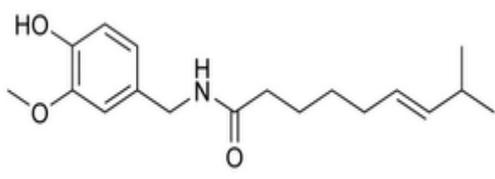
Fresa (*Fragaria*
vesca)



Vitamina E (α-tocoferol)



Vitamina C
(*Ácido ascórbico*)
**Magnesio (Mg)*

<p>Chile pimienta (<i>Capsicum annuum</i>)</p>	<div style="text-align: center;">  <p>Vitamina E (α-tocoferol)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Vitamina C (Ácido ascórbico)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Vitamina A (β-caroteno)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Capsaicina</p> </div>
---	---

Fuente: Pokorny J., et al, 2005. *Minerales.

2.4.2 Clasificación de los antioxidantes naturales

En la tabla 6 se muestran los antioxidantes que constituyen el sistema de defensa *in vivo*, y como se puede observar, está formado por muchas líneas de defensa. La primera línea consiste en la inhibición de la formación de especies reactivas de oxígeno y de radicales libres a través del secuestro de iones metálicos, por reducción de hidroperóxidos y peróxido de hidrogeno y por captación de superóxido y oxígeno singulete. Los antioxidantes que absorben radicales actúan como segunda línea de defensa. Los principales representantes de este grupo son la vitamina liposoluble E y la

hidrosoluble C. ambas captan radicales e inhiben la reacción de propagación. Los compuestos polifenólicos también pueden actuar como potentes antioxidantes absorbedores de radicales. La tercera línea de defensa está constituida por los mecanismos de reparación de novo y el aclaramiento de los lípidos, proteasas y enzimas reparadoras del DNA, son responsables de llevar a cabo estos procesos. Aun existe otro mecanismo de defensa por el cual los antioxidantes apropiados en cada situación son producidos y transferidos al lugar correcto, en el momento correcto y en la cantidad correcta.

Los alimentos son esenciales para aportar los antioxidantes, componentes y elementos traza que acabamos de mencionar. Por ejemplo, las enzimas glutatión peroxidasa desempeñan un papel fundamental reduciendo los hidroperóxidos y el peróxido de hidrogeno. Se han encontrado varios tipos de glutatión peroxidasa, unas selenoproteínas que contienen selenio como ion metálico. Los seres humanos obtenemos el selenio fundamentalmente a través de la dieta, por lo que los suelos deficientes en este elemento provocan deficiencias, tales como la enfermedad de Keshan. La fuente de este elemento proviene fundamentalmente de alimentos, fruta y bebidas tales como el té (Pokorny J., *et al*, 2005).

2.5 Los antioxidantes sintéticos disponibles

En la actualidad se encuentran en el mercado cuatro antioxidantes sintéticos: TBHQ (tertiary-butildroquimone), BHA (butilato de hidroxianisole), BHT (butilato de hidroxitoluene) y propil galato. BHA y BHT son los más efectivos para controlar la oxidación de la grasa animal. Utilizándolos en combinación, son particularmente eficaces.

Los antioxidantes sintéticos son derivados de productos a base de petróleo, pero a pesar que comparten su origen, no son parecidos. Por ello se recomienda a los procesadores de alimentos que busquen

el antioxidante que les proporcione la mejor protección y que sea el más aconsejable para su aplicación. En otras palabras, que les ofrezca la mayor pureza y seguridad y que sea elaborado bajo condiciones de Buenas Prácticas de Manufactura, además de cumplir con las especificaciones incluidas en el Código de Alimentos Químicos.

A pesar que los antioxidantes naturales ciertamente juegan un importante rol en asegurar la calidad de los alimentos, los antioxidantes sintéticos tienen ventajas que los distinguen. Los antioxidantes sintéticos son de fácil uso, más seguros y en general, resultan más económicos. Claro está que para mantener la estabilidad de la marca y su integridad, la confiabilidad debe ser la consideración clave.

2.6 La ventaja natural

El beneficio más obvio del antioxidante natural en comparación con el artificial, es que el natural proporciona una declaración de ingrediente en la etiqueta más favorable. Mientras que esta no es una verdadera preocupación para los servicios de comidas, hay otras razones por las cuales ciertos productos en esta categoría pueden sacar beneficios de su origen natural, como es el caso del extracto de romero. El extracto de romero además de aportar su sabor natural, tiene propiedades antioxidantes. Es más, puede prolongar la vida de anaquel del producto sin tener que ser sometido a las regulaciones de control del USDA de Estados Unidos y los ingenieros de alimentos tienen la libertad de combinarlo con otros antioxidantes.

Frecuentemente los niveles regulatorios para la aprobación de los antioxidantes no son lo suficientemente estrictos para proteger el producto durante el proceso y distribución. Es por lo que el extracto de romero es particularmente efectivo para mantener el sabor de los productos cárnicos y controlar el deterioro. Las carnes que han pasado por un proceso de cocción, son refrigeradas y nuevamente recalentadas, pueden sufrir deterioro del sabor y desarrollar un sabor

inaceptable que puede causar una reacción de oxidación (http://www.industriaalimenticia.com/Archives_Davinci?article=1310).

2.6.1 Potencia de los antioxidantes naturales

Ya que los antioxidantes endógenos sintetizados por los organismos aeróbicos (por ejemplo SOD, catalasa, GSH) no previenen completamente el daño provocado por las especies reactivas *in vivo*, (Halliwell B, 1999), se hace necesaria la existencia de una serie de sistemas de reparación para intentar reducir el daño oxidativo y, además, los humanos debemos obtener antioxidantes a partir de la dieta. De este hecho surge el considerable interés actual hacia el papel de los antioxidantes contenidos en la dieta como componentes bioactivos de los alimentos. El papel fisiológico de alguno de ellos, tales como la vitamina E y C, se conoce con precisión. El interés por los flavonoides ha aumentado en los últimos años, dada su presencia ubicua como antioxidantes alimentarios.

Cuadro 7. Sistemas de defensa *in vivo* contra el daño oxidativo

1. Antioxidantes preventivos: suprimen la formación de radicales libres	
a) Descomposición no radicalaria de hidroperóxidos y peróxido de hidrogeno:	
Catalasa	Descomposición de peróxido de hidrogeno $2\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$
Glutación peroxidada (celular)	Descomposición de peróxido de hidrogeno e hidroperóxidos de ácidos grasos libres $\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{GSH} \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{GSSG}$ $\text{LOOH} + 2\text{GSH} \rightarrow \text{LOH} + \text{H}_2\text{O} + \text{GSSG}$
Glutation peroxidasa (plasmatica)	Descomposición de peróxido de hidrogeno e hidroperóxidos fosfolipidicos $\text{PLOOH} + 2\text{GSH} \rightarrow \text{PLOH} + \text{H}_2\text{O} + \text{GSSG}$
Hidroperóxido lipidica glutación peroxidasa	Descomposición de hidroperóxidos fosfolipidicos
Peroxidasa	Descomposición de peróxido de hidrogeno e hidroperóxidos lipidicos $\text{LOOH} + \text{AH}_2 \rightarrow \text{LOH} + \text{H}_2\text{O} + \text{A}$

	$H_2O_2 + AH_2 \rightarrow 2H_2O + A$
Glutación-S-transferasa	Descomposición de hidroperóxidos lipídicos
b) Secuestro de metales por quelación:	
Transferrina, lactoferrina	Secuestro de hierro
Haptoglobina	Secuestro de hemoglobina
Hemopexina	Estabilización de grupo hemo
Ceruloplasmina, albumina	Secuestro de cobre
c) Moderación de oxígenos activos:	
Superoxido dismutasa (SOD)	Desproporción de superóxido $2O_2^{\cdot -} + 2H^+ \rightarrow 2H_2O_2 + O_2$
Carotenoides, vitamina E	Moderación de oxígeno singulete
2. Antioxidantes captadores de radicales: captan radicales inhibiendo la cadena de iniciación y rompiendo la cadena de propagación.	
Hidrófilo: vitamina C, ácido úrico, bilirrubina, albumina	
Lipofilo: vitamina E, ubiquinol, carotenoides, flavonoides	
3. Enzimas de reparación y <i>de novo</i> : reparan el daño y reconstituyen la lipasa de las membranas, proteasa, enzimas de reparación del DNA, transferasa.	
4. Adaptación: se generan los enzimas antioxidantes adecuados y se transfieren al lugar correcto en el momento correcto y a la concentración correcta.	

Fuente: Pokorny J., *et al*, 2005.

Los flavonoides son difenilpropanos que frecuentemente forman parte de las plantas y, por tanto, de la dieta de los humanos. Se consumen en cantidades relativamente altas con la alimentación diaria. La principal fuente de flavonoides son las verduras, frutas y bebidas. Por ejemplo, el contenido en glucósido de quercetina en las hojas superficiales de la lechuga puede llegar a ser de 237 mg/kg de peso fresco y el contenido de kemferol en col rizada puede llegar a los 250 mg/kg de peso fresco (Hertog M; *et al*, 1992 y 1993). Los flavonoides y otros polifenoles poseen acciones antitumorales, antialérgicas, antiagregantes, antiisquémicas y antiinflamatorias.

El estudio *Zutphen Elderly* ha aportado datos epidemiológicos sobre la importancia de los flavonoides para reducir la mortalidad asociada a las enfermedades coronarias (Hertog M; *et al*, 1993). El papel de los antioxidantes fenólicos de la dieta *in vivo* como protectores contra el cáncer también ha quedado subrayado en algunos estudios

epidemiológicos (Block y Knekt, *et al.*, 1992 y 1997). Los flavonoides pueden ejercer esta actividad por inhibición de la actividad de algunas enzimas, como la xantina oxidasa, mieloperoxidasa, lipooxigenasa y ciclooxigenasa, quelando iones metálicos (Laughton M, *et al.*, 1991), por interacción con otros antioxidantes como el ascorbato (Sato K y Sakagami, 1996) y lo que es más importante, captando radicales libres.

2.6.2 Eficacia y mecanismo de acción

Actualmente se requiere de la evaluación de la capacidad antioxidante para determinar la eficacia de los antioxidantes naturales, en relación a la protección de productos vegetales contra el daño oxidativo y pérdida de su valor comercial y nutricional (Sánchez-Moreno, 2002).

Las características esenciales de cualquier prueba de evaluación de la capacidad antioxidante con un sustrato adecuado en el cual pueda ser monitoreada la inhibición de la oxidación, un iniciador de la oxidación (radical libre) y una adecuada medición del punto final de la oxidación, la que puede llevarse a cabo por métodos químicos, instrumentales o sensoriales (Arnao, *et al.*, 1999; Robards, *et al.*, 1999).

A pesar de la diversidad de métodos existentes para la evaluación de la actividad antioxidante, hay necesidad de estandarizarlos para diferentes productos y así obtener medidas comparables.

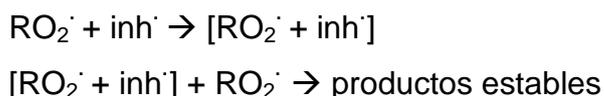
Se han publicado diversas revisiones sobre la cinética y mecanismos de acción de los antioxidantes (Porter W, *et al.*, 1980). Como puede deducirse de los mecanismos de autooxidación antes indicados, una determinada sustancia retrasa la reacción de autooxidación si inhibe la formación de radicales libres en la fase de iniciación o si interrumpe la cadena de propagación de radicales libres.

La iniciación de radicales libres puede retrasarse mediante el uso de sustancias que descompongan los peróxidos, de agentes que acomplejen los metales o de inhibidores del oxígeno singulete. Eliminar las trazas de peróxidos y de iniciadores metálicos es muy difícil, por lo que las investigaciones se han dirigido hacia el empleo de aceptores de radicales libres.

El primer estudio cinético detallado de la acción de los antioxidantes fue llevado a cabo en 1947 por Bolland y Ten Have, utilizando un sistema modelo constituido por linoleato de etilo e hidroquinona, como <<inhibidor>> (Bolland J. L., y P. Ten Have, 1947). Postularon que los antioxidantes inhibían la reacción en cadena actuando como donadores de hidrogeno o aceptores de radicales libres y concluyeron que el aceptor de radicales libres (AH) reaccionaba fundamentalmente con los radicales ROO· y no con los R·.



Concluyeron también que el número más probable de cadenas de oxidación terminadas por una molécula de inhibidor era 2 y que la reacción podía considerarse, por tanto, como una reacción en dos etapas. Otros autores han sugerido diferentes mecanismos de oxidación; por ejemplo, que el radical libre intermedio, AH·, forme productos estables por reacción con un radical RO₂· o que se forme un complejo entre el radical RO₂· y el antioxidante (inhibidor), que va seguido de la reacción del complejo con otro radical RO₂·, para rendir productos estables:



Aunque todas las reacciones precedentes puedan estar teniendo lugar, el mecanismo básico y más importante es el originalmente

propuesto por Bolland y Ten Have, que puede visualizarse como una competencia entre la <<reacción con el inhibidor>>,



y la reacción de propagación en cadena.



La eficacia de un antioxidante está relacionada con numerosos factores, entre ellos la energía de activación, las constantes de velocidad, el potencial de oxidación reducción, la mayor o menor facilidad de destrucción o pérdida del antioxidante y las propiedades de solubilidad. Las dos reacciones competitivas antes citadas (es decir, la reacción con el inhibidor y la reacción de propagación en cadena) son exotérmicas; su energía de activación aumenta al aumentar las energías de disociación de los enlaces A-H y R-H y, por tanto, la eficacia del antioxidante aumenta a medida que desciende la resistencia del enlace A-H. Idealmente, sin embargo, el radical libre antioxidante resultante no debe iniciar nuevos radicales libres ni ser susceptible de una oxidación rápida por una reacción en cadena. En este sentido, los antioxidantes fenólicos ocupan una posición privilegiada.

Son excelentes donadores de hidrogeno o electrones y sus intermedios radicalarios son relativamente estables, debido a la deslocalización por resonancia y a la carencia de posiciones adecuadas para el ataque por el oxígeno molecular. Las hidroquinonas, por ejemplo, reaccionan con los radicales hidropoxi, formando híbridos de resonancia estables de la semiquinona.

La eficacia de un antioxidante se ve influida, además de por su capacidad de retrasar o frenar la reacción en cadena, por su solubilidad en la grasa y su volatilidad. La solubilidad afecta a la accesibilidad a los radicales peroxi y la volatilidad a su persistencia a lo largo del almacenamiento o el tratamiento térmico.

Durante los últimos años, la atención se ha centrado en el estudio de la acción de los antioxidantes en las superficies, especialmente en sistemas como membranas, micelas y emulsiones. La importancia del carácter antifílico de las moléculas de antioxidante en la determinación de su eficacia en los sistemas bifásicos y multifásicos ha sido plenamente demostrada por Porter (Porter W, 1980).

2.7 Nutrientes y sustancias no nutritivas que actúan como antioxidantes

2.7.1 Vitaminas

Vitamina C: En frutas y verduras, frescas y crudas, como guayaba, kiwi, mango, piña, caqui, cítricos, melón, fresas, bayas, pimientos, tomate, brasicáceas (verduras de la familia de la col), frutas y hortalizas en general.

Vitamina E (tocoferol): germen de trigo, aceite de soja, germen de cereales o cereales de grano entero, aceite de oliva, vegetales de hoja verde y frutos secos.

Betacaroteno o "provitamina A": Pertenece a la familia de los carotenoides de los vegetales. El organismo es capaz de transformarlo en vitamina A. Posee conjuntamente las propiedades de la vitamina A y de los antioxidantes que actúan sobre los radicales libres. Recientemente se ha demostrado su papel en la prevención de las cataratas y su efecto beneficioso en procesos inflamatorios y en los relacionados con el envejecimiento. Alimentos ricos en betacaroteno: verduras de color verde o coloración rojo-anaranjado-amarillento (zanahoria, espinacas, calabaza, etc.), y ciertas frutas (albaricoques, cerezas, melón y melocotón).

2.7.2 Minerales

Selenio: Relacionado con un menor riesgo de tumores de piel, hígado, colon y mama. Asimismo vinculado al funcionamiento de la glutatión peroxidasa (enzima antioxidante de nuestro organismo). En carnes, pescados, marisco, cereales, huevos, frutas y verduras.

Zinc: Favorece la formación de nuevas proteínas (renovación celular), participa en la lucha contra los radicales libres y en la síntesis de enzimas, interviene en el sistema inmune o de defensas y favorece el buen estado de piel y mucosas (tonicidad y elasticidad de la piel). Constituyen buena fuente de zinc las carnes, vísceras, pescados, huevos, cereales completos y legumbres.

Cobre: Potencia el sistema inmune, participa en la formación de enzimas, proteínas y neuro-transmisores cerebrales (renovación celular y estimulante del sistema nervioso), es un agente antiinflamatorio y antiinfeccioso. Facilita la síntesis de colágeno y elastina (necesarios para el buen estado de los vasos sanguíneos, del cartílago, de los pulmones y de la piel), actúa como antioxidante protegiendo las células de los efectos tóxicos de los radicales libres y facilita la fijación del calcio y fósforo. Alimentos ricos en cobre: hígado, pescado, mariscos, cereales completos y vegetales verdes.

2.7.3 Aminoácidos (los componentes más simples de las proteínas)

Cisteína: aminoácido no esencial, nuestro cuerpo puede fabricarlo sin problemas. Es importante para la producción de enzimas contra los radicales libres, como la glutatión peroxidasa. El hígado y nuestras defensas lo utilizan para desintoxicar el cuerpo de sustancias químicas y otros elementos nocivos. La cisteína, que se encuentra en carnes, pescados, huevos y lácteos, es un destoxicante potente

contra los agentes que deprimen el sistema inmune, como el alcohol, el tabaco y la polución ambiental.

2.7.4 Colorantes naturales u otros compuestos de vegetales

Flavonoides: Comprenden a los flavonoles, los antocianidos y a las flavonas, colorantes naturales con acción antioxidante que constituyen el grupo más importante de la familia de los polifenoles, muy presentes en el mundo vegetal. Protegen el sistema cardiovascular y activan las enzimas glutatión peroxidasa y catalasa, antioxidantes presentes de forma natural en nuestro organismo. Están en la familia de las coles, las verduras de hoja verde, las frutas rojas y moradas y los cítricos. Según la American Cáncer Society, reducen el riesgo de cáncer colo-rectal.

Isoflavonas: En la soja y algunos de sus derivados como el tofu (queso de leche de soja) y el tempeh (semillas de soja a las que se añade un hongo específico para su fermentación). Algunos estudios científicos han demostrado que las mujeres asiáticas que consumen soja presentan una menor incidencia de cáncer de mama y matriz que las occidentales.

Ácido alfa-lipoico: Es un carotenoide de algunas verduras y frutas, que ayuda a neutralizar los efectos de los radicales libres potenciando las funciones antioxidantes de las vitaminas C, E y de la enzima glutatión peroxidasa. Abunda en el tomate.

2.7.5 Sustancias propias del organismo, enzimas antioxidantes

Además de las enzimas glutatión peroxidasa, catalasa y superóxido dismutasa, hay otras sustancias antioxidantes como la coenzima Q-10.

Coenzima Q-10: Ayuda a las enzimas a realizar su función, y participa en numerosos procesos corporales. Se ha comprobado una gran similitud entre las propiedades antioxidantes de la vitamina E y las de la coenzima Q-10, que juega un muy importante papel en la generación de energía celular y a su vez es un estimulante inmune, mejora la circulación y ayuda a proteger el sistema cardiovascular (<http://revista.consumer.es/>).

2.8 Estrés Oxidativo

El estrés oxidativo y la protección antioxidante, son de interés en agronomía, la ciencia de los alimentos y la medicina. El estrés oxidativo es un estado celular en el cual se encuentra alterada la homeostasis óxido-reducción intracelular, es decir el balance entre prooxidantes y antioxidantes. Este desbalance se produce a causa de una excesiva producción de especies reactivas de oxígeno (ERO) y/o por deficiencia en los mecanismos antioxidantes, conduciendo a un daño celular.

Se ha estimado que aproximadamente un 2 por ciento del oxígeno consumido por un organismo normal formará ERO, de las cuales varias son radicales libres. Cuando la generación de ERO sobrepasa las barreras de defensa antioxidantes del organismo, se produce un daño por lesión química de las estructuras biológicas y a este proceso se le denomina estrés oxidativo. El daño oxidativo que estas especies pueden producir en las macromoléculas biológicas graves consecuencias. Reaccionan con lípidos, proteínas, carbohidratos y ADN en el interior de las células y con componentes de la matriz extracelular, por lo que pueden desencadenar un daño irreversible que si es muy extenso, puede llevar a la muerte celular.

2.8.1 Especies reactivas del oxígeno

Las especies reactivas del oxígeno (ERO), como el radical anión súper óxido (O_2^-), el radical hidroxilo (OH^-) y el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) son productos universales del metabolismo aerobio.

En plantas, las ERO son generadas a velocidades significantes por reacciones intrínsecas a la fotosíntesis, fotorespiración, fosforilación oxidativa, oxidación de ácidos grasos y muchos otros tipos de oxidación (Alscher, *et al.*, 1997).

En situaciones en que exista una mayor actividad metabólica, como en las etapas del crecimiento y desarrollo activo, o lesiones en el tejido vivo, ocurre una mayor demanda tisular de oxígeno y parte de este se metaboliza, generándose un alto número de sustancias oxidantes.

El peróxido de hidrógeno (H_2O_2) participa en el metabolismo celular y también tiene una función secundaria como señalizador en la regulación del crecimiento y desarrollo; así como en la respuesta al estrés (Foyer, *et al.*, 1997). No obstante, el H_2O_2 puede ser convertido, vía reacciones tipo Fenton a el peligroso radical hidroxilo, que ejerce efectos tóxicos dentro de la célula (Fridovich, 1986).

Existe un apropiado balance intracelular entre la generación de ERO y su eliminación en todas las células. Esta homeostasis oxidoreducción, requiere a eficiente coordinación de reacciones entre los diferentes compartimentos celulares y esta es controlada por una compleja red de prooxidantes y antioxidantes. Los últimos incluyen antioxidantes no enzimáticos como el ascorbato, vitamina E, glutatión reducido y β -caroteno, y moléculas hidrofóbicas (carotenoides, tocoferoles y xantofilas), y enzimas detoxificadoras que operan en los diferentes organelos celulares (Noctor y Foyer, 1998). Estas enzimas incluyen a superóxido dismutasas, catalasas y ascorbato peroxidasa.

La actividad enzimática antioxidante ha sido usada como base para seleccionar poblaciones de maíz con resistencia a bajas temperaturas (Hodges, *et al.*, 1997).

Según Foyer, *et al.*, (1997) incrementos en ERO son típicas respuestas de las plantas a estrés biótico y abiótico. Así mismo, las altas temperaturas pueden alterar el sistema integrado de antioxidantes, enzimáticos y no enzimáticos involucrados en la detoxificación de ERO.

Las especies reactivas del oxígeno, producen diversas acciones sobre el metabolismo de los principios inmediatos, que pueden ser el origen del daño celular si actúan:

1. Sobre los lípidos poliinsaturados de las membranas produciendo pérdida de fluidez y lisis celular como consecuencia de la peroxidación lipídica.
2. Sobre los glúcidos, alterando las funciones celulares como las asociadas a la actividad de las interleuquinas y la formación de prostaglandinas, hormonas y neurotransmisores.
3. Sobre las proteínas, produciendo inactivación y desnaturalización.
4. Sobre los ácidos nucleicos mediante la modificación de bases produciendo mutagénesis y carcinogénesis.

Por otra parte debe de tenerse en cuenta que los organismos vivos utilizan a los radicales libres para la destrucción de bacterias y patógenos invasores.

Para ser efectivos, los antioxidantes deben estar cerca de los sitios de producción de oxidantes y cerca de los sitios con riesgo de daño oxidativo. No obstante, el mecanismo antioxidante y sus complejas interacciones entre los tejidos no ha sido completamente elucidado (Doulis, *et al.*, 1997).

2.8.2 Radicales Libres

En los últimos años se ha registrado gran interés por los radicales libres (RL) y la función que cumplen en el organismo. Un radical libre es cualquier especie química, con existencia propia y altamente reactiva, generada por las reacciones bioquímicas de oxidoreducción que ocurren como parte del metabolismo celular normal, y por la exposición a contaminantes ambientales como luz ultravioleta y el humo de cigarro y que además contiene electrones desapareados en los orbitales que participan de los enlaces químicos; por lo tanto, cuando un orbital contiene un único electrón, se dice que ese electrón está desapareado.

Los radicales libres pueden ser formados tanto por la pérdida como por la ganancia de un electrón. En el primer caso se trata de una oxidación y en el segundo, de una reducción. También se forman radicales cuando se rompe la unión covalente entre dos átomos, de modo que los dos electrones que son compartidos por la unión se separan, y queda uno en cada átomo.

Sea cual fuere el mecanismo de la formación de un radical, el electrón en más o en menos, desestabiliza al átomo, ya que aumenta su contenido energético y lo torna muy reactivo. Como su tendencia espontánea es volver al estado de menor energía, cediendo o recibiendo electrones, reacciona rápidamente con otros átomos o moléculas que se encuentren cercanos a fin de alcanzar su estabilidad electroquímica (Finkel y Holbrook, 2000).

Las principales especies de radicales libres que se presentan en el cuerpo humano incluyen: radical superóxido (O_2^-), radical hidroxilo (OH^-), radical óxido nítrico (NO^-) y radical peróxido (ROO^-).

La vida media biológica del radical libre es de microsegundos, pero tiene la capacidad de reaccionar con todo lo que este a su alrededor provocando un gran daño a moléculas, membranas y tejidos.

2.9 Sistema de Defensa Antioxidante

Las reacciones de oxidación son esenciales en los procesos metabólicos celulares. Dichas reacciones involucran la transferencia de electrones que producen RL. Esta situación es incompatible con la vida, a menos que existan en las células mecanismos de defensa que neutralicen los RL.

Para mantener un balance oxido-reducción, los organismos se protegen de la toxicidad de los agentes oxidantes de diferentes maneras, incluyendo el uso de antioxidantes (*Figura 1*).

A estas defensas se les denomina antioxidantes y se considera como tal, a cualquier sustancia que en concentraciones normales posea una afinidad mayor que cualquier otra molécula para interaccionar con un radical libre. El antioxidante al colisionar con él, le cede un electrón oxidándose y transformándose en un radical libre débil no tóxico (Rodríguez, *et al.*, 2003).

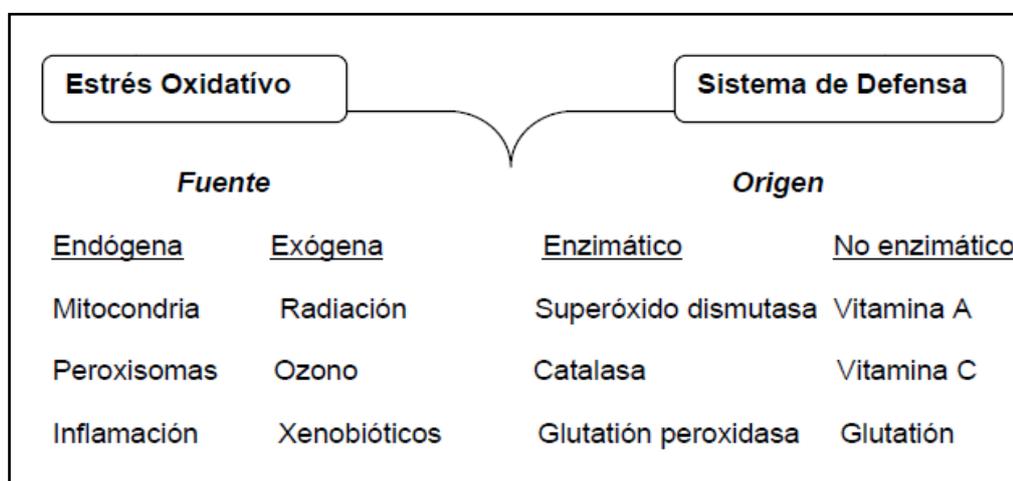


Figura 1. Balance Oxido-Reducción

No todos los antioxidantes actúan de esta manera, los llamados enzimáticos catalizan o aceleran reacciones químicas que utilizan sustratos que reaccionan con los RL. De lo dicho anteriormente se deduce que los antioxidantes pueden ser enzimáticos o no. Estos se clasifican en endógenos (se encuentran en el organismos y son sintetizados por sus células) y exógenos (ingresan a través de la dieta) (Figura 2).

ANTIOXIDANTES		
Exógenos	Endógenos	
	Enzimáticos	No enzimáticos
Vitamina C	Catalasa	Glutación
Vitamina E	Superóxido dismutasa	Coenzima Q
Flavonoides	Peroxidasas	Ácido tiótico

Figura 2. Clasificación de los Antioxidantes

Existe una primera línea de defensa antioxidante constituida por enzimas y eliminadores de RL (Jacob, 1995).

Enzimas:

- La citocromo oxidasa está encargada de evitar la reducción univalente del oxígeno.
- La superóxido dismutasa está especializada en captar el radical anión superóxido mediante una dismutación y así convertirlo en peróxido de hidrógeno.
- Catalasa y peroxidasas (glutación peroxidasa y glutación reductasa) que neutralizan al H₂O₂ y lo convierten en agua.

Eliminadores de RL:

- La vitamina E o tocoferol neutraliza al radical OH^\cdot por su ubicación en las membranas donde su protección es particularmente importante.
- La vitamina C, por su carácter reductor, reacciona rápidamente en el O_2^\cdot y con el OH^\cdot , también es captor del oxígeno singlete y del ion hipoclorito.
- El glutatión, además de captar el H_2O_2 como sustrato de la glutatión peroxidasa, también capta al O_2^\cdot y al OH^\cdot
- La transferrina y la ceruloplasmina son transportadoras de metales de transición, hierro y cobre respectivamente, que son generadores de RL.
- Este sistema defensivo, no es totalmente efectivo, por lo que hay involucrada una segunda línea constituida por:
 - Sistemas reparadores de biomoléculas que reparan el daño producido al ADN y que pudieran propiciar trastornos genéticos o cancerígenos.
 - Sistemas eliminadores de componentes celulares oxidados como las macroproteinasas y las endonucleasas.

2.10 Métodos para medir antioxidantes

La generación de radicales libres está relacionada con la oxidación de lípidos y sustratos biológicos, por tanto, es importante la búsqueda de métodos para la determinación del secuestro de especies de radicales. Los principales métodos utilizados con este fin en ambos sustratos, hidrosolubles y liposolubles, se basan en el secuestro de radicales: superóxido (O_2^\cdot), peróxido de hidrógeno (H_2O_2), radicales peróxido (HOCL), radicales hidroxilo (HO^\cdot) y secuestro de radicales peróxido (ROO^\cdot), entre los que destacan los métodos que usan azo-compuestos para la generación de radicales peróxido, tales como el método del "TRAP" (Total Radical Trapping Antioxidant Parameter) y el método del "ORAC" (Oxygen-Radical Absorbance Capacity); secuestro del catión radical 2,2- Azinobis- (3- etilbenzotiazolin-6-sulfonato) o

método del ABTS o del “TEAC” (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity); secuestro del radical estable 2,2-difenil-1-picrilhidrazil o método del DPPH. Y secuestro del radical cation N, N-dimetil-pufenilendilamina o método del DMPD. Actualmente, a pesar de la diversidad de métodos existentes, hay una gran necesidad de estandarizar estos métodos para la determinación de la actividad antioxidante. La búsqueda de métodos más específicas, que proporcionen una información química que sea directamente relacionada con el deterioro oxidativo de alimentos y muestras biológicas, podría ser el objeto de futuras investigaciones (Sánchez-Moreno, 2002).

2.11 Tendencias Futuras

Existen ahora numerosos trabajos que sugieren un papel y unas funciones para los antioxidantes que no quedan explicados completamente solo por su actividad como inhibidores de la oxidación. Por ejemplo, hay un consenso generalizado de que la vitamina E ejerce un gran conjunto de efectos que fomentan la homeostasis vascular, (Keaney J, *et al.*, 1999); por ejemplo, inhibiendo la actividad de la proteína quinasa C, la proliferación de las fibras musculares lisas y la adhesión de las células inflamatorias a la pared endotelial. Más aun, se ha demostrado que algunos antioxidantes son capaces de inducir algunas enzimas defensivas de fase II tales como la quinona reductasa y la glutatión-S-transferasa. El papel fisiológico de tales funciones es tema de futuras investigaciones.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se llevo a cabo en el Laboratorio de Nutrición y Alimentos de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” (UAAAN) ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, cuyas coordenadas geográficas son: 25° 21' 03" latitud Norte y 101° 01' 34" longitud Oeste del meridiano de Greenwich, a una altura de 1743 msnm.

3.1 Aparatos y Materiales

3.1.1 Aparatos

- Espectrofotómetro marca Thermo Spectronic modelo Helios Épsilon
- Centrifuga Centra CL-2 modelo 120 con una capacidad máxima de 4100 rpm
- Congelador modelo (s): FCM5F5WH y FCM7F5WH
- Refrigerador-congelador marca LG modelo GR-732DBCD
- Balanza analítica AND modelo HR-200 con una capacidad máxima de 210 g
- Potenciómetro marca HANNA modelo HI991001
- Micropipetas graduadas

3.1.2 Materiales

- Material vegetativo: Chile pimiento, manzana, cebolla, papaya, guayaba, fresa, ajo, uva, calabacita, aguacate, zarzamora, betabel.
- Morteros y pistilo
- Tubos de ensaye

- Cuchillo
- Tabla para cortar
- Espátula
- Celdas de un centímetro de longitud
- Cronometro
- Papel aluminio
- Celdas de un centímetro de longitud marca PLASTIBRAND
- Vasos de precipitado
- Gradillas
- Matraz Erlenmeyer
- Matraz de aforación
- Probeta
- Puntillas

3.2 Reactivos

Kit "Total Antioxidant Status Kit Assay" (Calbiochem, San Diego, CA, USA):

- Solution buffer
- Cromogeno
- Sustrato
- Estándar
- Agua desionizada
- Agua destilada H₂O₂
- Hidróxido de Sodio NaOH QP peso molecular 40.00
- Fosfato de potasio monobásico KH₂PO₄ peso molecular 136.09
- Buffer pH 4- Biftalatos- Estabilizador
- Buffer pH 7- Fosfatos- Estabilizador
- Solución buffer de fosfato pH 7

3.3. Metodología

3.3.1 Determinación de la Capacidad Antioxidante Total en Alimentos

La determinación de la concentración de antioxidantes se realizó mediante la utilización del kit "Total Antioxidant Status Kit Assay". No. Cat. 615700. (Calbiochem®, San Diego, CA, USA) (Miller *et al.*, 1993).

3.3.2 Preparación de los reactivos

- Cromógeno. Agregar 10 ml de buffer (de fosfato salino). (Estabilidad de 2 días a 4° C).
- Estándar. Agregar 1 ml de agua bidestilada o desionizada. (Estabilidad de 2 días a 4° C).
- Sustrato. Por cada 2.5 ml agregar 3.75 ml de buffer. (Estabilidad 24 horas a 4° C).

3.3.3 Otros

Para preparar 100ml Solución buffer de fosfatos pH = 7:

1. Pesar 2.722 g de Fosfato de potasio monobásico en una balanza analítica y colocarlo en un matraz de aforación de 50 ml y aforar con agua destilada.
2. Posteriormente pesar 0.8 g de Hidróxido de sodio y colocarlo en un matraz de aforación de 50 ml y aforar con agua destilada.
3. Colocar en un matraz de 100 ml, 25 ml de Fosfato de potasio monobásico diluido y 14.5 ml de Hidróxido de sodio. Aforar con agua destilada.
4. Por último guardar a una temperatura de 4 °C durante 24 hrs.

3.3.4 Procedimiento

1. Colocar el mortero de porcelana y el material vegetativo en el congelador de preferencia un día antes de ser utilizado.
2. El espectrofotómetro se ajusta a 600 nm contra el aire, 30 minutos antes de usarlo.
3. Estabilizar a 37 °C la solución buffer, cromógeno, estándar y sustrato.
4. Pesar 5 g de muestra en tejido fresco o congelado y colocarlos en un mortero de porcelana; triturar vigorosamente.
5. Poner en un tubo de ensaye el material triturado.
6. Agregar 10 ml de solución buffer de fosfatos pH = 7
7. Pasar a un tubo de centrifuga y centrifugar a 3000 rpm por 10 minutos.
8. Colocar un tubo de ensaye con agua destilada para equilibrar.
9. Calibrar a cero el espectrofotómetro a 600 nm contra el aire.
10. Una vez obtenido el sobrenadante agregar a cada celdilla:

	Blanco	Estándar	Muestra
Agua bidestilada o desionizada	20 µL	-----	-----
Estándar	-----	20 µL	-----
Muestra	-----	-----	20 µL
Cromógeno	1 ml	1 ml	1 ml

11. Mezclar bien y leer la absorbancia inicial (A_0).
12. Agregar 200 µL de sustrato diluido a cada celdilla.
13. Mezclar y tomar el tiempo de inicio al agregar a la primera muestra.
14. Leer la absorbancia exactamente después de 3 minutos (A).

3.3.5 Cálculos

Determinar el Gradiente de A para muestras, estándar y blanco:

Gradiente de A = A – A_o.

Calcular la concentración de antioxidante en la muestra mediante la siguiente fórmula:

$$AT \text{ (mM/L)} = \frac{(2.03) (\text{Gradiente A Blanco} - \text{Gradiente A Muestra})}{(\text{Gradiente A Blanco} - \text{Gradiente A Muestra})}$$

NOTA: La concentración de antioxidante del estándar es específica para cada lote de producto, ver etiqueta del kit.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizó un análisis de varianza (ANVA) y pruebas de medias de Tukey ($\alpha \leq 0.05$) donde se determinó el potencial antioxidante total en doce especies vegetales. El paquete estadístico analizado fue el Analyse-it for Microsoft Excel versión V2.09. Los resultados obtenidos se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 8. Determinación de la capacidad antioxidante total en el extracto de tejido vegetal de doce especies.

Especie vegetal	Potencial antioxidante total (mM/g) Mean
Betabel	0.028 e
Papaya	0.062 de
Uva	0.102 de
Ajo	0.108 de
Cebolla	0.124 de
Calabacita	0.210 cde
Aguacate	0.222 bcd
Manzana	0.246 bcd
Guayaba	0.275 bcd
Zarzamora	0.359 abc
Fresa	0.379 ab
Chile pimienta	0.476 a

*Los promedios seguidos por la misma literal son estadísticamente iguales, según DMS ($\alpha \leq 0.05$).

De acuerdo con los resultados arrojados por el ANVA se encontraron diferencias estadísticas y numéricas, el vegetal que mostró

mayor potencial antioxidante fue el chile pimiento con 0.476 mM/g comparado con el betabel con 0.028 mM/g que es el vegetal con menor potencial antioxidante, esto puede deberse a los antioxidantes presentes en cada vegetal ya que en el chile pimiento se encuentra la Capsaicina, vitamina E (α -tocoferol) y la vitamina C en una proporción alta, en cuanto al betabel contiene betalainas y vitamina C en una proporción muy baja.

Después del chile pimiento la fresa con 0.379 mM/g y la zarzamora con 0.359 mM/g son los vegetales con un alto potencial antioxidante, todos los vegetales antes mencionados son estadísticamente diferentes entre ellos mismos y los demás vegetales. La fresa contiene vitamina C, vitamina E, bioflavonoides y folatos; en cuanto a la zarzamora se encuentra la vitamina A, vitamina C, vitamina E, taninos y algunos minerales como manganeso, selenio, cobre y zinc.

La capacidad antioxidante de frutas y hortalizas puede ser influenciada por factores genéticos, así como por el medio ambiente, Prior *et al.* (1998) encontraron diferencias de hasta 3.3 veces entre especies y cultivares de arándano y fresa. También encontraron diferencias de 2.6 y hasta 10 veces en la capacidad antioxidante entre cultivares de espinaca, pimiento verde y brócoli, respectivamente. Esta variabilidad entre hortalizas puede ser explicada por la influencia de la especie y el cultivar.

Según Zapata *et al* en un estudio realizado con el objetivo de evaluar la actividad antioxidante en diferentes frutos habituales en la dieta mediterránea, el contenido de fenoles totales en la fresa oscilo entre los $95,22 \pm 3,45$ mg $100g^{-1}$ PF y la uva con $60,03 \pm 2,58$ mg $100g^{-1}$ PF y $61,42 \pm 1,36$ mg $100g^{-1}$ PF, respectivamente. Vinson *et al.*, (2001), también encontraron en un estudio comparativo de 20 frutos, que la fresa y la uva roja eran de los frutos con un contenido de fenoles totales más elevados.

La guayaba con 0.275 mM/g, la manzana con 0.246 mM/g y el aguacate con 0.222 mM/g, son valores altamente significativos en cuanto a su potencial antioxidante aunque es menor que el del chile pimienta, la fresa y la zarzamora, pero aun así se consideran entre los valores más altos. Estos tres valores son estadísticamente iguales, son valores muy cercanos esto puede deberse al contenido de moléculas antioxidantes ya que la guayaba es rica en vitamina C, vitamina A, ácidos grasos y polifenoles; en cuanto a la manzana es rica en vitamina E, vitamina C, quercetina, taninos, flavonoides, polifenoles, ácidos grasos y el aguacate en vitamina E, vitamina C, vitamina A y ácidos grasos; lo cual muestra que las moléculas antioxidantes de estos tres vegetales son casi las mismas y que debido a eso los valores arrojados por el experimento son similares. Además de que pudiera deberse a que estos vegetales tienen la pulpa amarilla que fue la parte evaluada.

Varios estudios sobre la evaluación de la capacidad antioxidante en frutos han revelado aspectos interesantes en relación al comportamiento de los constituyentes antioxidantes. Eberhardt *et al.* (2000) en un estudio realizado en manzanas, demostraron que la vitamina C por sí sola aporta menos del 0.4 % de la actividad antioxidante total del fruto, sugiriendo que la mezcla compleja de antioxidantes en las frutas proporcionan beneficios sobre la salud, principalmente a través de la combinación de efectos aditivos y/o sinérgicos.

La calabacita con 0.210 mM/g es un vegetal verde lo cual puede ser un indicador del valor arrojado por el experimento es más pequeño que los anteriores pero no despreciable es rica en vitamina C y vitamina A como los vegetales anteriores aunque probablemente en una cantidad menor. El resultado está en el rango de otros estudios realizados sobre el mismo vegetal.

La cebolla con 0.124 mM/g, el ajo con 0.108 mM/g, la uva con 0.102 mM/g y la papaya con 0.062 mM/g son estadísticamente iguales; los valores indican que el potencial antioxidante es menor que todos los demás vegetales pero mayor que el betabel. El potencial antioxidante se debe a las moléculas antioxidantes contenidas en cada vegetal, la cebolla es rica en vitamina A, vitamina C; el ajo en vitamina C, Allicina, quercitina y zinc; la uva en vitamina A, vitamina C, resveratrol, antocianinas, zinc y cobre y la papaya es rica en vitamina A, vitamina C. Estos cuatro vegetales tienen moléculas antioxidantes parecidas lo cual influye si el potencial es alto o bajo.

En un estudio realizado con el objetivo de evaluar la capacidad antioxidante total de 24 alimentos convencionales y nueve propios de la región del Estado de Chiapas (Gutiérrez *et al*, 2007), se encontró que: los vegetales propios de la región, que manifestaron mayores valores de CAT fueron la calabacita con un valor de 30.07 mmol⁻¹ g⁻¹, más alto que el resto de los alimentos evaluados, lo que puede deberse al contenido de fotoquímicos, como los carotenoides y sustancias fenólicas. Otros vegetales que presentaron altos valores de poder antioxidante fueron: betabel en 24.92 mmol⁻¹ g⁻¹, el aguacate con 22.40, el chile con 19.15 y la cebolla en 17.11. El betabel es rico en compuestos fenólicos particularmente antocianinas mientras el aguacate contiene vitamina E. Se concluye que los valores mayores de la CAT se obtuvieron en la calabacita, el betabel y el aguacate como vegetales tradicionales. Dentro de las frutas se destacaron, por sus valores de actividad antioxidante, la guayaba con 28.5, la papaya con 25.1 y la manzana con 27.1.

Sin embargo, los valores encontrados en esta investigación están en concordancia con la actividad antioxidante reportada por Wu *et al.* (2004), Rivera-López, *et al.*, (2005) y Gutiérrez, *et al.*, (2007) como capacidad antioxidante total (CAT), que corresponde a la suma de antioxidantes lipofílicos (L-ORAC, L) y antioxidantes hidrofílicos (H-ORAC, H).

Cao, *et al.*, (1996) y Wang, *et al.*, (1996) realizaron estudios en frutas y hortalizas, demostrando que la mayor parte de la actividad antioxidante proviene principalmente del contenido de flavonoides y otros compuestos fenólicos.

Debido a que los antioxidantes han sido estudiados por una variedad de disciplinas desde la ciencia clínica hasta la ciencia de los polímeros, se ha generado una gran cantidad de métodos (de 25 a 100), lo que hace difícil comparar los resultados y crea una necesidad de estandarización de los mismos.

No obstante, esta actividad antioxidante total *in vitro* no necesariamente refleja las condiciones fisiológicas celulares, ni considera la biodisponibilidad y metabolismo de sus componentes.

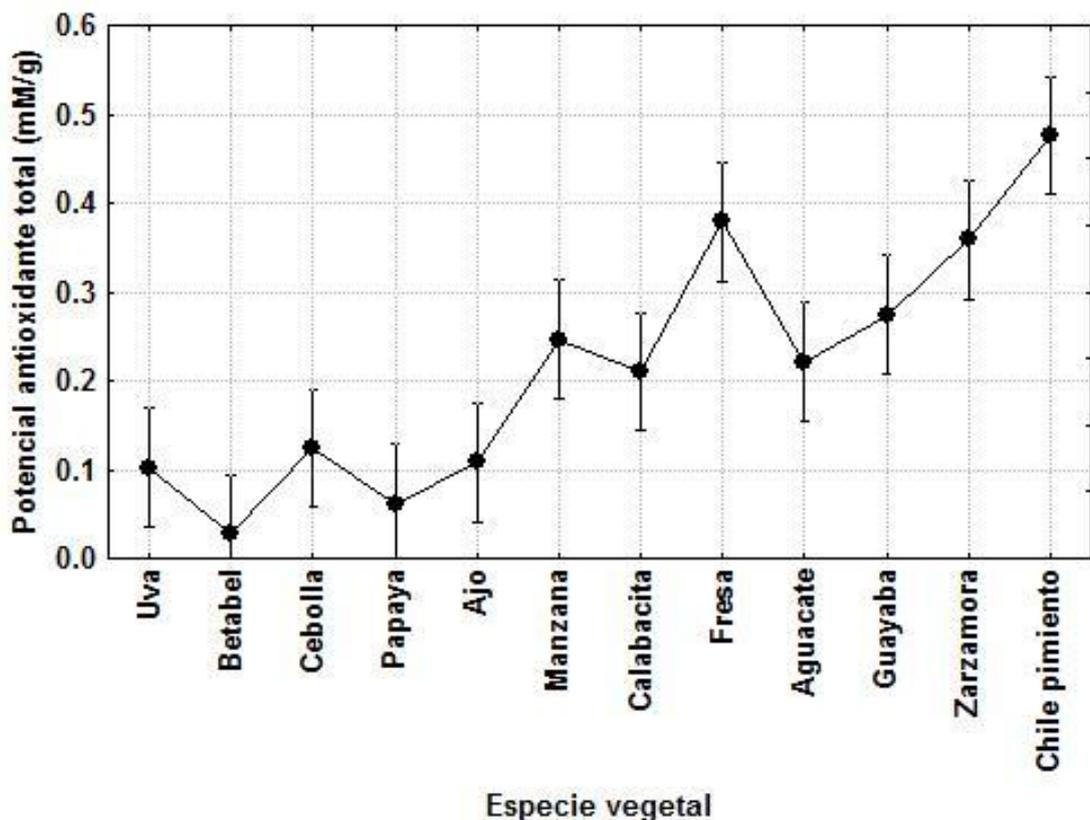


Figura 3. Potencial antioxidante total mM/g de cada especie vegetal.

La figura 3 muestra gráficamente el nivel de antioxidantes presentes en cada especie vegetal donde se puede observar que el chile pimiento es el que tiene mayor potencial antioxidante, seguido de la fresa, zarzamora que son valores más significativos sin dejar de mencionar que la guayaba, manzana, aguacate, calabacita, cebolla, ajo, uva, papaya, betabel aunque son valores más bajos también tienen potencial antioxidante.

5. CONCLUSIONES

Se determinó el potencial antioxidante total en extractos de tejido de chile pimiento, fresa, zarzamora, guayaba, manzana, aguacate, calabacita, cebolla, ajo, uva, papaya y betabel mediante el uso del Kit Calbiochem®.

Se concluye que existe un rango de variación y además se comparó el nivel de antioxidantes presentes en cada especie donde el chile pimiento (0.476 mM/g) es el que mayor potencial antioxidante tiene, la fresa (0.379 mM/g) y la zarzamora (0.359 mM/g) también tienen un nivel de antioxidantes alto aunque menor que el chile pimiento. La guayaba (0.275 mM/g), manzana (0.246 mM/g) y aguacate (0.222 mM/g) tienen el nivel de antioxidantes casi similar debido que las moléculas contenidas en estos vegetales son parecidas y probablemente se encuentran en la misma proporción. La calabacita (0.210 mM/g), cebolla (0.124 mM/g), ajo (0.108 mM/g), uva (0.102 mM/g), papaya (0.062 mM/g) y betabel (0.028 mM/g) tienen un nivel antioxidante más bajo que los demás pero es significativo.

6. RECOMENDACIONES

Hablar de antioxidantes es una rama muy amplia y compleja la cual se estudia por una diversidad muy amplia de métodos lo cual sería necesario hacer una estandarización de los métodos utilizados en la determinación de antioxidantes, además de que sería conveniente que se utilizaran las mismas unidades para realizar una comparación más precisa de los resultados arrojados por cada investigación.

En la actualidad existe una amplia gama de alimentos y la industria alimentaria tiene la necesidad de ofrecer alimentos inorgánicos y sobre todo que tengan un alto contenido en antioxidantes para lo cual es indispensable la fijación de componentes como giberelinas en la producción y así potencializar los antioxidantes y la calidad de los alimentos.

7. LITERATURA CITADA

A. Vaclvik, Vickie. 2002: Fundamentos de ciencia de los alimentos. Editorial ACRIBIA, S.A. ZARAGOZA (España). Página 403.

Alscher, R. G. Donahue, J. L. Cramer, C. L. 1997. Reactive Oxygen Species and Antioxidants: Relationships in Green Cells. *Physiol. Plant.* 100:24-233.

Arnao, M. B. Cano A. Acosta, M. 1999. Methods to Measure the Antioxidant Activity in Plant Material. A Comparative Discussion. *Free Radical Res.* 31: 589-596.

Arvanitoyannis, I.S. & Houwelingen- Koukaliaroglou, M. V. 2005. Functional Foods: A survey of health claims, pros and cons, and current legislation. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 45: 385-404.

Barrett DM, Theerakulkait C. Quality indicators in blanched, frozen, stored vegetables. *Food Technology.* 1995; 49 (1): 62-65.

Block G, Putterson B and Subar A. 1992. 'Fruits, vegetables, and cancer prevention: a review of the epidemiological evidence', *Nutr Cancer.* 18: 1-29.

Block G. 1992. 'The data support a role for antioxidants in reducing cancer risk', *Nutr Rev.* 50 (7): 207-13.; Knekt P, Jarvinen R, Seppanen R, Helleovaara M, Teppo L, Pukkala E and Aromna A. 1997. 'Dietary flavonoides and the risk of lung cancer and other malignant neoplasms', *Am J Epidemiol.* 146 (3): 223-30.

Bolland, J. L. and P. ten Have. 1947. Kinetic studies in the chemistry of rubber and related materials. IV. The inhibitory effect of hydroquinone on the thermal oxidation of ethyl linoleato. *Trans. Faraday Soc.* 43: 201-210.

Bracco, U., J. Loliger, and J. L. Viret. 1981. Production and use of natural antioxidants, *J. Am. Oil Chem. Soc.* 68: 669-671.

Brown J E, Khodr H, Hider R C and Rice- Evans C A. 1998. 'Structural dependence of flavonoids interactions with Cue^{2+} ions: implications for their antioxidant properties', *Biochem J.* 330 (3): 1173-8.; Moran J F, Klucas R V, Grayer R J, Abian J and Becana M. 1997. 'Complexes of iron with Phenolic compounds from soybean nodules and other legume tissues: prooxidante and antioxidant properties', *Free Radic Biol Med.* 22 (5): 861-70.; Van Acker S A, van den Berg D J, Tromp M N, Griffioen D H, van Bennekom W P, van der Vijgh W J and Bast A. 1996. 'Structural aspects of antioxidant activity of flavonoids', *Free Radic Biol Med.* 20 (3): 331-42.

Cao, G., Sofic E, Prior, R. L. 1996. Antioxidant Capacity of Tea and Common Vegetables. *J. Agric. Food Chem.* 44: 3426-3431.

Carlos Salazar Preciado. Secretaría de desarrollo rural. Colima, Col, México. abacomex@col.gob.mx.

Chan, S. S., and B. Matijasevic, O. Hsieh, and C. Huang. 1977. Natural antioxidants from rosemary and sage. *J. Food Sci.* 42: 1102-1106.

Chang S; Tan; Frankel E.N.; Barrett D. M. 2000. Low- density lipoprotein antioxidant activity of Phenolic compounds and polyphenols oxidase activity in selected clingstone peach cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.*; Waterman D. G.; Mole S. 1994. Analysis of Phenolic plant metabolites. Waterman P.G.; Mole S. Eds Blackwell Scientific Publications, Oxford, U.K. 48: 147-151.

Charley, Helen. 2006; Tecnología de alimentos: Procesos químicos y físicos en la preparación de alimentos. Mexico: Limusa. 327-329.

Cubero N. 2002. Tecnología de alimentos: Aditivos alimentarios. Coedición: A. Madrid Vicente. Ediciones Mundi- Prensa. 79.

De- Rosa, J. F. 1998. Estado actual de la terapéutica antioxidante: oxidación y antioxidación. *Rev Fed Arg Cardiol.* 27: 496-498.

Doulis, A. G., Debin, N., Kingston – Smith, A. H., Foyer, C. H. 1997. Differential Localization of Antioxidants in Maize Leaves. *Plant Physiology.* 114:1031-1037.

Eberhardt, M. V., Lee, C. Y., Liu, R. H. 2000. Antioxidant activity of fresh apples. *Nature* 405: 903-904.

Elías L. Alimentación, salud y nutrición. *Soya Noticias* 2000; I (258): 11-14.

Fennema R. Owen. 2000; Química de los alimentos. 2ª Edición; Editorial ACRIBIA, S. A. 334-342.

Finkel, T., Holbrook, N. J. 2000. Oxidants, Oxidative Stress and the Biology of Ageing. *Nature.* 408: 239-247.

Foyer, C. H., Lopez-Delgado, H., Dat, J. F., Scott, I. M. 1997. Hydrogen Peroxide and Glutathione–Associated Mechanisms of Acclimatory Stress Tolerance and Signalling. *Physiol. Plant.* 100: 241-254.

Fridovich, I. 1986. Biological Effects of the Superoxide Radical. *Arch. Biochem. Biophys.* 247: 1-11.

Functional foods attitudinal research (en línea) 2000; URL: <http://inficinfo.health.org/insight/2000>.

Functional foods: Opening the door to better health (en línea)
1995 noviembre-diciembre; URL: <http://inficinfo.health.org/insight/novdec95/enhance.htm>.

Gross J. *Pigments in vegetables- Cholophylls and Carotenoids*.
New York: Chapman & Hall, 1991.

Gutiérrez Z., Á., Ledesma R., Luis, García G., I. *et al.* 2007.
Capacidad Antioxidante Total en Alimentos Convencionales y
Regionales de Chiapas, México. *Rev Cubana Salud Pública*. Ene.-Mar.,
vol.33, no.1. ISSN 0864-3466. Disponible [On line]:
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-34662007000100008&lng=es&nrm=iso.

Halliwell B. 1999. "Oxygen and nitrogen are pro- carcinogens.
Damage to DNA by reactive oxygen, chlorine and nitrogen species:
measurement, mechanism and the effects of nutrition", *Mut Res*. 443(1-
2): 37-52.

Halliwell B.; Gutteridge J. 1990. The antioxidants of human
extracellular fluids. *Arch Biochem Biophys*. 280 (1): 1-8.

Hertog M G L, Hollman P C H and Katan M B. 1992. 'Content of
potentially anticarcinogénica flavonoids of 28 vegetables and 9 fruits
commonly consumed in the Netherlands', *J Agric Food Chem*. 40 2379-
83.; Hertog M G L, Hollman P C H and van der Putte B. 1993. 'Content
of potentially anticarcinogénica flavonoides of tea infusions, wines, and
fruits juices', *J Agric Food Chem*. 41 1242-6.

Hertog M G L, Hollman P C H, Katan M B and Kromboud D.
1993. 'Estimation of daily intake of potentially anticarcinogénica
flavonoides and their determinants in adults in the Netherlands', *Nutr
Cancer*. 20 (1): 21-9.

Hodges DM, Andrews CJ, Johnson DA, Hamilton RI.1997. Antioxidant Enzyme Responses to Chilling Stress in Differentially Sensitive Inbred Maize Lines. *Journal of Experimental Botany* 48, 1105–1113.

Hudson, B. J. D., ed. 1990. *Food Antioxidants*, Elsevier, Amsterdam.

Jacob, R. A. 1995. The Integrated Autoxidant System. *Nutr Res.* 1995.15:755 - 766.

Karakaya, S. & Kavas, A. 1999. Antimutagenic activities of some foods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 79: 237-242.

Kaur, C. and Kapoor, H. C. 2001. Antioxidants in fruits and vegetables- the millennium's health. *Int. J. Food Sci. Technol.* 36: 703-725.

Keaney JF, Jr., Simon DI and Freedman JE. 1999. 'Vitamin E and vascular homeostasis: implications for atherosclerosis', *FASEB J.* 13 (9): 965-76.

Laughton M J, Evans P J, Moroney M A, Hout J R and Halliwell B. 1991. 'Inhibition of mammalian 5- lipoxygenase and cyclooxygenase by flavonoids and Phenolic dietary additives. Relationship to antioxidant activity and to iron ion- reducing ability', *Biochem Pharmacol.* 42 (9): 1673-81.; Hout J R, Moroney M A and Paya M. 1994. 'Actions of flavonoids and coumarins on lipoxygenase and cyclooxygenase', *Methos Enzymol.* 234: 443-54.

Lemar, K. M.; Torner, M.P.; Lloyd, D. 2002. Garlic (*Allium sativum*) as an anti- *Candida* agent: a comparison of the efficacy of fresh garlic and freeze- dried extracts. *Journal of Applied Microbiology* 93 (3), 398-405.

Mercedes A. Consumo de frutas y hortalizas: efecto benéfico de los compuestos antioxidantes sobre la salud. Centro Nacional de Ciencia y Tecnología (CITA).

Miller, N. J.; Rice-Evans, C.; Davies, M. J.; Gopinathan, V.; Milner, A. 1993. A Novel Method for Measuring Antioxidant Capacity and Its Application to Monitoring the Antioxidant Status in Premature Neonates. *Clinical Science* 84(4): 407-412.

Morel I, Lescoat G, Cillard P and Cillard J. 1994. 'Role of flavonoids and iron chelation in antioxidant action', *Methods Enzymol.* 234: 437-43.

Nicoli, M. C., Anese, M. & Parpinel, M. 1999. Influence of processing on the antioxidant properties of fruits and vegetables. *Trends Food Sci. Technol.* 10: 94-100.

Noctor, G., Foyer, C. H. 1998. Ascorbate and Glutathione: Keeping Active Oxygen under Control. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 49: 249-279.

Ou B.; Huang D.; Hampsch- Woodill M.; Flanagan J. A.; Deemer E. K. 2002. Analysis of antioxidant activities of common vegetables employing oxygen radical absorbance capacity (ORAC) and ferric reducing antioxidant power (FRAP) assays: a comparative study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50, 3122-3128.

Pokorny J.; Yanishlieva N.; Gordon M. 2005. Antioxidantes de los alimentos. Aplicaciones prácticas. Editorial ACRIBIA, S. A. ZARAGOZA (España).

Porter, W. L. 1980. Recent trends in Food applications of Antioxidants, in Autoxidation in Food in Biological Systems (*M. G. Simic and M. Karel, eds.*), Plenum Press, New York. 295- 365.

Prior, R. L., Cao, G., Martin, A., Sofic, E., McEwen, J., O, Brien, C., Lischner, N., Ehlenfeldt, M., Kalt, W., Krewer, G., Mainland, C. M. 1998. Antioxidant Capacity As Influenced By Total Phenolic and Anthocyanin Content, Maturity and Variety of Vaccinium Species. *J. Agr. Food Chem.* 46: 2686-2693.

Rivera López, J., Vázquez Ortiz, F., Ayala Zavala, F., Sotelo Mundo, R., González Aguilar, G. 2005. Cutting Shape and Storage Temperature Affect Overall Quality of Fresh-Cut Papaya Cv. "Maradol". *J. Food Sci.* 70: 482-489.

Robards, K., Prenzler, P. D., Tucker, G., Swatsitang, P., Glover, W. 1999. Phenolic Compounds and Their Role in Oxidative Processes in Fruits. *Food Chem.* 66: 401-436.

Rodríguez Carrasco, Bárbara B. 2003. Estrés Oxidativo y Sistema de Defensa Antioxidante. *Revista de Ciencias Médicas. La Habana.* 9 (2).

Rodríguez, P. J. M; Méndez, L. J. R; Trujillo, Y. 2001. Radicales Libres en la Biomedicina y el Estrés Oxidativo. *Rev. Cubana Med Milit.* 30(1): 36-44.

Sánchez Moreno, C. 2002. Review: Methods Used To Evaluate The Free Radical Scavenging Activity In Foods And Biological Systems. *Food Sci. Tech. Int.* 8: 121-137.

Satoh K and Sakagami H. 1996. 'Ascorbyl radical scavenging activity of polyphenols', *Anticancer Res.* 16 (5A): 2885-90.

Schieber, A., Stintzing, F. C. and Carle, R. 2001. By- products of plant food processing as a source of functional compounds- recent development. *Trends Food Sci. Technol.* 12:401-413.

Schuler P. 1990. Natural antioxidants exploited commercially, *in Food Antioxidants* (B. J. F. Hudson, ed.), Elsevier, Amsterdam. 99-170.

Shahidi F., P. K. Janitha, and P.D. Wanasundara. 1992. Phenolic Antioxidants. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 32: 67-103.

Sherwin, E. R. 1976. Antioxidants for vegetable oils. *Amer. Oil Chemists' Soc. J.* 53: 430-436. Rancidez; tipos y funciones de los antioxidantes.

Tomas- Barberán F.A.; Gil M. I.; Cremin P.; Waterhouse A. L.; Hess- Pierce B.; Kader A. A. 2001. HPLC-DAD- ESIMS analysis of Phenolic compounds in nectarines, peaches, and plums. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 49: 4748-4760.

Tomas- Barberán, F. A. and Espin, J. C. 2001. Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. *J. Sci. Food Agric.* 81: 853-876.

Verlangieri AJ, Kapeghian JC, El- Dean S and Bush N. 1985. 'Fruit and vegetable consumption and cardiovascular mortality', *Med Hypotheses.* 16: 7-15.

Vinson J. A.; Su X.; Zubik L.; Bose P. 2001. Phenol Antioxidant quantity in foods: fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49: 5315-5321.

Wang, H., Cao, G., Prior, R. L. 1996. Total Antioxidant Capacity of Fruits. *J. Agric. Food Chem.* 44: 701-705.

Wu, X., Beecher, G. R., Holden, J. M., Haytowitz, D. B., Gebhardt, S. E., Prior, R. L. 2004. Lipophilic and Hydrophilic Antioxidant Capacities of Common Foods In The United States. *J. Agric. Food Chem.* 52: 4026- 4037.

Zapata P, Valverde J.M, Guillén F, Bailén G, Castillo S, Martínez- Romero, Valero D, Serrano M. Actividad antioxidante en diferentes frutos habituales en la dieta mediterránea. Depto. Tecnología de Alimentos, Depto. Biología Aplicada, EPSO, Universidad Miguel Hernández, Ctra. Beniel km. 3.2, 03312, Orihuela, Alicante, España.

Fuentes de internet:

- <http://inficinfo.health.org/insight/2000>
- <http://inficinfo.health.org/insight/novdec95/enhance.htm>
- http://perso.wanadoo.es/recetasdecocina/alimentos_de_la_cocina/pimiento.html
- <http://portal.anacafe.org/Portal/Documents/Documents/2004-12/33/5/Cultivo%20de%20Aguacate.pdf>
- <http://www.alimentacionsana.com.ar/informaciones/alimentoscuran/betabel.htm>
- <http://www.alimentacionsana.com.ar/informaciones/novedades/manzana.htm>
- <http://www.euroresidentes.com/Alimentos/definiciones/guayaba.htm>
- http://www.industriaalimenticia.com/Archives_Davinci?article=1310
- http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tradicionales/fresas.htm
- <http://www.infoagro.com/hortalizas/cebolla.htm>
- http://www.madrimasd.org/cienciaysociedad/ateneo/dossier/alimentos_funcionales/worldfoodscience/alimentosfuncionales.htm
- http://www.occidenteagricola.com/info/doc_evaluaciones/pdf/manuales%20tecnicos%20horticolas/Cultivo%20de%20la%20Papa%20ya.pdf