



94
2ej.
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

"LOS ANTIOXIDANTES EN ALIMENTOS:
PERSPECTIVAS DE APLICACION".

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO EN ALIMENTOS
P R E S E N T A
CARLOS ABRAHAM REYNOSO OCAMPO

ASESOR: DRA. SARA ESTHER VALDES MARTINEZ

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO DE MEX.

1998

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

268078



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
PRESENTE

ATN: Q. Ma. del Carmen Garcia Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

"Los antioxidantes en alimentos: Perspectivas de aplicación"

que presenta el pasante: Carlos Abraham Reynoso Ocampo
con número de cuenta: 8958947-6 para obtener el TITULO de:
Ingeniero en Alimentos

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO

ATENTAMENTE.

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 2 de Julio de 1998

PRESIDENTE I.B.Q. J. Francisco Montiel Sosa

VOCAL M. en C. Rosa M. Arriaga Orihuela

SECRETARIO Dra. Sara E. Valdés Martínez

PRIMER SUPLENTE M. en C. Clara I. Alvarez Manrique

SEGUNDO SUPLENTE Q.F.B. Virginia Oliva Arellano

A DIOS NUESTRO SEÑOR:

Señor, en los momentos difíciles he dudado de tu existencia. Lloraba, gritaba y no sentía tu presencia; hasta que un día me di cuenta que siempre has permanecido a mi lado como un Padre amoroso perdonando siempre mis errores.

Es por eso Señor que te pido perdón por todo y te doy las gracias por el tiempo que me has otorgado para la realización de este trabajo. Gracias por permitirme ser libre y por los padres que me diste.

Gracias por mi familia tan linda que me diste y por los amigos que he tenido en el transcurso de mi vida. GRACIAS POR TU AMOR.

¡TE AMO!

A MIS PADRES:

Gracias por haberme heredado el más hermoso de los regalos: “*la vida*”

A ELLA:

Por estar conmigo en los momentos difíciles, por ayudarme a levantarme sin importarle cuantas veces me haya caído, por no importarle que tan graves sean los errores que he cometido, por compartir mis alegrías, por compartir mis aciertos enseñándome a disfrutarlos con humildad, por amarme sin pedir nada a cambio.

¡GRACIAS MADRE!

A EL:

Porque su silencio y su mirada me han mostrado cuanto me ama, por su sencillez que me ha enseñado que es el camino para vivir en armonía, por su honradez que es una virtud que pocos hombres poseen.

¡GRACIAS PADRE!

A ellos, los señores *Abraham Reynoso Ruiz* y Señora *Estela Ocampo Mundo* les dedico esta tesis como un pequeño homenaje a todo lo que me han dado y me han enseñado, por la gran admiración que siento a toda una vida de trabajo para que no nos falte nada, al gran amor que me profesan.

LOS AMO.

CARLOS ABRAHAM REYNOSO OCAMPO

A MIS HERMANOS:

María Esther, Blanca Estela, Emma, Guillermo, y en especial a María del Rosario y Miguel.

A quienes amo profundamente por haber construido una linda familia, a pesar de los problemas, alegrías y tristezas logramos permanecer unidos.

A *Chari y May* nos une las innumerables experiencias que vivimos juntos, cuando niños mi madre tuvo que salir a trabajar.

LOS AMO A TODOS.

A MI NUEVA FAMILIA:

Mis sobrinos: *Martha Alicia, Liliana Patricia, Juan Pablo, Javier, Andrés Gerardo, Luis Guillermo, Daniel Martín, Diego Renato, Martha Paulina, Lizy Melina, Jazmín Esmeralda, María Fernanda.*

En especial a *Víctor Manuel* porque desde el momento que nació hizo muy feliz a mi hermana *Blanca Estela* y por ende a todos nosotros.

A quien me hizo un joven viejo: mi sobrino nieto *Rafael Alejandro.*

A mi nueva sobrina que aún no posee un *nombre.*

LOS AMO A TODOS.

A MIS AMIGOS:

Enrique Rodríguez, Luis Adolfo, María del Carmen, Nicolás, Alfa, Claudia, Carmen, quienes juntos vivimos las más hermosas de las experiencias.

Al *Ing. Luis Jiménez Escobar* que estuvo conmigo en los momentos más difíciles de mi vida.

LOS QUIERO MUCHO

A MIS MAESTROS:

Ing. Francisco Montiel, Ing. Rosalía Melendez, Ing. Alfredo Alvarez, Dr. Arjona, Maestra Clara Inés, Dr. Tecante Coronel. Quienes por su dedicación, esfuerzo y talento les doy las gracias.

A LA DRA. SARA ESTHER VALDES MARTÍNEZ:

A quien admiro desde el momento que nos dio la primera clase.

La admiro como ser humano ya que siempre está dispuesta a ayudar a quien se lo pide, como investigadora siempre encontraré respuesta a mis dudas, como mujer por defender siempre sus ideales.

Por todo eso le doy gracias. Gracias por el apoyo recibido y por la amistad que siempre me brindó durante este tiempo.

CARLOS ABRAHAM REYNOSO OCAMPO

CONTENIDO

PAGINA

OBJETIVOS	i
INTRODUCCION	ii
1.0 GENERALIDADES	1
1.1 Lípidos	1
1.2 Clasificación	1
1.3 Acidos grasos	4
1.3.1 Acidos grasos saturados	4
1.3.2 Acidos grasos monoinsaturados	5
1.3.3 Acidos grasos poliinsaturados	6
1.4 Oxidación de Lípidos	8
1.4.1 Autoxidación	8
1.4.2 Rancidez lipolítica o hidrolítica	15
1.5 Historia de los antioxidantes	16
1.6 Los antioxidantes alimentarios	16
1.6.1 Definición	16
1.6.2 Clasificación	17

2.0	BLOQUEADORES RADICALES DE PEROXIDO (SINTETICOS)	20
2.1	BHT (Butilhidroxitolueno)	22
2.1.1	Características	22
2.1.2	Metabolismo	27
2.1.3	Toxicología	29
2.1.4	Aplicaciones	30
2.2	BHA (Butilhidroxianisol)	32
2.2.1	Características	32
2.2.2	Metabolismo	35
2.2.3	Toxicología	35
2.2.4	Aplicaciones	35
2.3	GP (Galato de Propilo)	38
2.3.1	Características	38
2.3.2	Metabolismo	40
2.3.3	Toxicología	42
2.3.4	Aplicaciones	42
2.4	TBHQ (Terbutilhidroxiquinona)	43
2.4.2	Características	43
2.4.2	Metabolismo	46
2.4.3	Toxicología	46
2.4.4	Aplicaciones	47
2.5	Etoxiquina (6-Etoxi-1,2-Dihidro-2,2,4-Trimetilquinolina)	48

2.5.1	Características	48
2.5.2	Metabolismo	49
2.5.3	Toxicología	50
2.5.4	Aplicaciones	50
2.6	Butilhidroximetifenol (4-Hidroximetil-2,6-Di-Tert-Butifenol)	52
2.6.1	Características	52
2.6.2	Metabolismo	53
2.6.3	Aplicaciones	53
2.7	THBP (2,4,5-Trihidroxibutirofenona)	53
2.7.1	Características	53
2.7.2	Metabolismo	55
2.7.3	Toxicología	55
2.7.4	Aplicaciones	55
2.8	Heptilparabeno (n-Heptil-p-hidrobenczoato)	55
2.8.1	Características	55
2.8.2	Metabolismo	57
2.8.3	Aplicaciones	57
3.0	BLOQUEADORES DE RADICALES PEROXIDO (Naturales)	58
3.1	Vitamina E (Tocoferol)	58
3.1.1	Características	58
3.1.2	Metabolismo	62
3.1.3	Toxicología	62

3.1.4	Aplicaciones	63
3.2	NDGA (Acido Nordihidroguayaretico)	64
3.2.1	Características	64
3.2.2	Toxicología	65
3.2.3	Aplicaciones	66
3.3	Goma o Resina de Guayaco	66
3.3.1	Características	66
3.3.2	Toxicología	67
3.3.3	Aplicaciones	68
3.4	Extracto de Romero	68
3.4.1	Características	68
3.4.2	Toxicología	69
3.4.3	Aplicaciones	69
3.5	Lecitina	70
3.5.1	Características	70
3.5.2	Aplicaciones	72
4.0	SINERGISTAS SECUESTRANTES DE METALES	73
4.1	EDTA (Etilendiamintetracetato de Sodio)	74
4.1.1	Características	74
4.1.2	Toxicología	76
4.1.3	Aplicaciones	77

4.2	Acido Cítrico (Acido 2-Hidroxi-1,2,3- Propano-Tricarboxílico)	78
4.2.1	Características	78
4.2.2	Toxicología	83
4.2.3	Aplicaciones	83
4.3	Vitamina C (Acido ascórbico)	84
4.3.1	Características	84
4.3.2	Metabolismo	89
4.3.3	Toxicología	89
4.3.4	Aplicaciones	90
5.0	AGENTES REDUCTORES	93
5.1	Pirosulfito de Potasio ($K_2S_2O_5$)	94
5.1.1	Características	94
5.1.2	Toxicología	95
5.1.3	Aplicaciones	95
5.2	Sulfito de Potasio (K_2SO_3)	95
5.2.1	Características	95
5.2.2	Metabolismo	96
5.2.3	Toxicología	96
5.2.4	Aplicaciones	96
5.3	Carbonato de Sodio (Na_2CO_3)	97
5.3.1	Características	97
5.3.2	Toxicología	98

5.3.3	Aplicaciones	98
5.4	Hipofosfito de Sodio (NaH_2PO_2)	98
5.4.1	Características	98
5.4.2	Toxicología	99
5.4.3	Aplicaciones	99
5.5	Metabisulfito de Sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$)	100
5.5.1	Características	100
5.5.2	Metabolismo	102
5.5.3	Toxicología	102
5.5.4	Aplicaciones	102
5.6	Sulfito de Sodio (Na_2SO_3)	103
5.6.1	Características	103
5.6.2	Metabolismo	104
5.6.3	Toxicología	104
5.6.4	Aplicaciones	105
5.7	Tiosulfato de Sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)	106
5.7.1	Características	106
5.7.2	Toxicología	107
5.7.3	Aplicaciones	107
5.8	Cloruro de Estaño (Cl_2S_n)	107
5.8.1	Características	107
5.8.2	Toxicología	108

5.8.3	Aplicaciones	108
6.0	OTROS	109
6.1	MRP (Productos de la reacción de Maillard)	109
6.1.1	Características	109
6.1.2	Aplicaciones	112
6.2	Lignina	113
6.2.1	Características	113
6.2.2	Metabolismo	113
6.2.3	Aplicaciones	113
6.3	Jengibre	114
6.3.1	Características	114
6.3.2	Toxicología	115
6.3.3	Aplicaciones	115
6.4	Extracto de Mostaza	116
6.4.1	Características	116
6.4.2	Aplicaciones	116
7.0	TENDENCIAS DE CONSUMO	117
8.0	DISCUSION	130
9.0	CONCLUSIONES	146
10.0	BIBLIOGRAFIA	149

LISTA DE FIGURAS

NUMERO	NOMBRE	PAGINA
1	Reacciones de Oxidación de los Lípidos	9
2	Consumo de Oxígeno en Función del Tiempo	10
3	Clasificación de Antioxidantes en Base a su Reactividad	19
4	Fórmula General de los Compuestos Fenólicos	20
5	Derivados Orto y Para	21
6	Mecanismo de Acción de un Antioxidante Fenólico Frente a un Radical de Acido Graso	22
7	Estructura Química del BHT	23
8	Metabolitos del BHT	28
9	Estructura Química del BHA	32
10	Formas de Resonancia Estables del BHA	34
11	Estructura Química del Galato de Propilo	38
12	Efecto del Galato de Propilo sobre la Estabilidad de Aceites con Respecto a los Demás Antioxidantes.	41
13	Estructura Química del TBHQ	44
14	Efecto del TBHQ sobre la Estabilidad de Aceites con Respecto a Otros Antioxidantes Utilizados.	45
15	Estructura Química de la Etoxiquina	48
16	Estructura Química del Butilhidroximetifeno!	52
17	Estructura Química del THBP	54
18	Estructura Química del Heptilparabeno	56
19	Estructura Química de la Vitamina E	59
20	Estructura Química del NDGA	64

21	Estructura Química de EDTA de Sodio	74
22	Quelato del EDTA	76
23	Estructura Química del Acido Cítrico	79
24	Síntesis del Acido Cítrico	79
25	Complejo Formado por el Acido Cítrico y el hierro	82
26	Estructura Química del Acido Ascórbico	85
27	Degradación del Acido Ascórbico	87
28	Sinergismo de Vitamina C y Vitamina E	89
29	Estructura Química del Metabisulfito de Sodio	100
30	Estructura Química del Tiosulfato de Sodio	106
31	Deaminación-Deshidratación de D-fructosamina a Reductonas	110
32	Estructura de Melanoidinas (Hidroxipiridona y Piranona) que Actúan como Antioxidantes Secuestrando Hierro.	111
33	Tendencia de la Producción de Aditivos para Alimentos	120
34	Tendencia de la Capacidad Instalada para la Producción de Aditivos para Alimentos	122

LISTA DE CUADROS

NUMERO	N O M B R E	PAGINA
1	Clasificación de los Lípidos	3
2	Acidos Grasos más Comunes en Alimentos	7
3	Características Fisicoquímicas del BHT	23
4	Adición del 0.02 % de Diversos Antioxidantes a Manteca de Cerdo Refinada	25
5	Efecto Sinérgico de Algunos Antioxidantes con el BHT empleados en la Conservación del Aceite de Pescado	30
6	Adición de BHT Permitida en Alimentos	31
7	Características Fisicoquímicas del BHA	33
8	Adición de BHA Permitida en Varios Alimentos en ppm Basado en el Peso Total del Alimento	37
9	Características Fisicoquímicas del GP	39
10	Solubilidad del Galato de Propilo	39
11	Adición de GP Permitida en Varios Alimentos en ppm basado en el Peso Total del Alimento	43
12	Características Fisicoquímicas de la Terbutilhidroxiquinona	44
13	Niveles del TBHQ Permitidos en Alimentos en ppm Basado en el Contenido de Grasa	47
14	Características Fisicoquímicas de la Etoxiquina	49
15	Adición de Etoxiquina Permitida en Alimentos en ppm	51
16	Características Fisicoquímicas del Butilhidroximetilfenol	53
17	Características Fisicoquímicas del THBP	54

18	Características Fisicoquímicas del Heptilparabeno	56
19	Características Fisicoquímicas de la Vitamina E	59
20	Estructura de los Tocoferoles	61
21	Características Fisicoquímicas del NDGA	65
22	Propiedades Antioxidantes de la Goma de Guayaco	67
23	Composición aproximada de la Lecitina Comercial de la Soya	70
24	Características Fisicoquímicas del EDTA de Sodio	75
25	Adición de EDTA Permitida en Varios Alimentos en ppm Basado en el Peso Total del Alimento	78
26	Características Fisicoquímicas de Acido Citrico	80
27	Acción Sinérgica del Acido Citrico (C) y Fosfórico (P) en Combinación de Galato de Laurilo (LG)	81
28	Solubilidad del Acido Cítrico	82
29	Adición de Acido Citrico permitida en Alimentos en ppm	84
30	Características Fisicoquímicas del Acido Ascórbico	85
31	Propiedades Antioxidantes del Acido Ascórbico	86
32	Características Fisicoquímicas del Piro sulfito de Potasio	94
33	Características Fisicoquímicas del Sulfito de Potasio	96
34	Características Fisicoquímicas del Carbonato de Sodio	97
35	Características Fisicoquímicas del Hipofosfito de Sodio	99
36	Características Fisicoquímicas del Metabisulfito de Sodio	101
37	Características Fisicoquímicas del Sulfito de Sodio	103
38	Características Fisicoquímicas del Tiosulfato de Sodio	106
39	Características Fisicoquímicas del Cloruro de Estaño	107
40	Características Fisicoquímicas del Jengibre	114
41	Producción de Aditivos para Alimentos 1990-1995 (Miles de Ton)	119

42	Producción de Aditivos para Alimentos 1990-1997 (Miles de Ton)	119
43	Capacidad Instalada para la Producción de Aditivos para Alimentos 1990-1997 (Miles de Ton)	121
44	Volumen de la Exportación de Diferentes Grasas y Aceites en 1995	124
45	Volumen de la Importación de Diferentes Grasas y Aceites en 1995	126
46	Volumen de la Exportación de Antioxidantes en 1995	127
47	Volumen de la Importación de Antioxidantes en 1995	128
48	Solubilidad de los Antioxidantes Fenólicos Sintéticos	131
49	DL ₅₀ de los Antioxidantes Fenólicos Sintéticos	133
50	Solubilidad de los Antioxidantes Naturales	135
51	DL ₅₀ de los Antioxidantes Naturales	137
52	Solubilidad de los Antioxidantes Sinergistas Secuestrantes de Metales	138
53	DL ₅₀ de los Antioxidantes Sinergistas Secuestrantes de Metales	139
54	Solubilidad de los Antioxidantes Reductores	141
55	DL ₅₀ de los Antioxidantes Reductores	142
56	Poder Bactericida de Algunos Antioxidantes	147

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

Analizar y evaluar el potencial de aplicación que presentan los diferentes antioxidantes en la industria alimentaria en base a sus características.

OBJETIVOS PARTICULARES:

1. Recopilar información acerca de las propiedades y aplicaciones de los antioxidantes
2. Clasificar los antioxidantes en base a su reactividad
3. Analizar las características principales de los antioxidantes.
4. Analizar la situación legal de los antioxidantes en nuestro país.
5. Analizar el potencial del uso de antioxidantes en México desde el punto de vista tecnológico.

INTRODUCCION

La protección contra la oxidación de grasas, aceites y alimentos que contienen lípidos es frecuentemente necesaria. la degradación oxidativa de los constituyentes de la naturaleza lipídica de los alimentos afecta su valor nutritivo, higiénico y propiedades organolépticas.

La degradación oxidativa es un fenómeno químico complejo que conduce a los que se denomina "Oxidación o enranciamiento de las grasas" cuyas repercusiones económicas pueden ser importantes pues provoca la pérdida de alimentos al volverse estos inconsumibles a causa de sus propiedades organolépticas y contenido de tóxicos (5).

A un nivel menor de deterioro. se puede temer que la ingestión de grasas oxidantes tenga repercusiones en el aspecto nutricional y seguridad alimentaria. Desde el punto de vista nutricional, después de la oxidación disminuye la calidad del alimento al destruirse vitaminas tales como A y E que son liposolubles; e igualmente se destruyen ácidos grasos poliinsaturados como el linoléico (n-6) y linolénico (n-3), ácidos grasos esenciales para el humano que no pueden ser sintetizados por el organismo, que juegan un papel importante en la constitución de todas las membranas celulares y subcelulares, y por otra parte son precursoras de los prostanoïdes (Prostaglandinas, Protaciclina, Tromboxanos, etc.) y los leucotrienos de los cuales día a día se descubre un poco más del papel que juegan en numerosos fenómenos biológicos (1).

En cuanto a la seguridad alimentaria, los productos resultantes de la oxidación de grasas (productos volátiles, peróxidos, oxiácidos) o a los productos debido a tratamiento térmico (monómeros cíclicos, polímeros) es inexistente, siempre hay un riesgo inherente de toxicidad.

La lucha contra la oxidación de los alimentos implica la necesidad de contar con soluciones tecnológicas, la adición de antioxidantes se utiliza desde hace mucho tiempo. Esta adición, fue en un principio de manera empírica, esta operación se sirve hoy de numerosos compuestos naturales o artificiales cuyo mecanismo de acción ha sido ampliamente estudiado (3).

En la utilización de antioxidantes es necesario saber que el consumidor no corre ningún riesgo de salud con la ingesta de estos compuestos.

Esto explica que numerosos trabajos hayan sido consagrados a la investigación de efectos metabólicos, fisiológicos y nutricionales de los antioxidantes (5).

Tomando en cuenta lo anterior, se revisarán aspectos que se consideran relevantes como:

La autoxidación de los aceites y de las grasas y de los medios que permiten combatirla; la naturaleza química de los principales antioxidantes utilizados en alimentos así como repercusiones en el organismo por la ingestión de antioxidantes (toxicológico y nutricional).

1.0 GENERALIDADES

1.1 LIPIDOS

La palabra lipido proviene del griego lipos, que significa grasa y cuya aplicación no ha sido bien establecida (1). Algunos autores definen lipido como: "Aquellas moléculas solubles en éter cloroformo y otros disolventes orgánicos e insolubles en agua" (2,28,32).

Estas moléculas incluyen grasas, aceites, ceras, fosfátidos, carotenoides, glucolípidos, lipoproteínas, esfingolípidos, vitaminas liposolubles, sulfolípidos, ácidos grasos, hidrocarburos y esteroides. Junto con el agua, las proteínas y los hidratos de carbono constituyen los principales componentes de los alimentos (2,28).

1.2 CLASIFICACION

El número de sustancias consideradas como lípidos es muy grande y la manera de clasificarlas resulta en ocasiones difícil; existen diversos métodos para este fin con sus propias ventajas y desventajas, pero todos ellos basados en algunas de las propiedades físicas o químicas que los caracterizan (1,7).

El más común es dividirlo en 3 grandes grupos en función de su estructura química:

1. Los lípidos simples que abarcan las grasas y los aceites y por tanto resultan ser los más abundantes e importantes para el tecnólogo de alimentos.

2. Los lípidos compuestos son aquellos que están integrados por una parte lipídica y otra que no lo es, unidas covalentemente; como son los fosfolípidos, glucolípidos, cerebrócidos, entre otros.

3. Los lípidos derivados o asociados; en esta categoría están los ácidos grasos libres, los carotenoides, las vitaminas liposolubles, el colesterol, etc. El cuadro 1 muestra la clasificación de los lípidos y ejemplos de estos (1).

Otra clasificación está dada por la capacidad que tienen para producir jabones. Aquellos que los forman los llaman saponificables y los que no son insaponificables:

1. Los saponificables comprenden las grasas, los aceites, las ceras, los fosfolípidos y los fosfátidos.
2. Los insaponificables son básicamente los esteroides, los hidrocarburos, los pigmentos y las prostaglandinas.

Existen otras clasificaciones, como la que los divide en polares y no polares:

1. Los polares (ácidos grasos, fosfoglicéridos, esfingolípidos, etc.) se orientan espontáneamente con el grupo polar hacia el agua pues contienen en su molécula una parte hidrofílica y otra hidrófoba.
2. Los no polares, permanecen asociados y no se orientan en la interfase acuosa, como ocurre con los hidrocarburos alifáticos no se suspenden, no se emulsionan y son insolubles en la fase acuosa (1,7).

CUADRO 1

Clasificación de los lípidos

LIPIDOS SIMPLES	LIPIDOS COMPUESTOS	COMPUESTOS
Esteres de Acidos grasos y alcoholes	Lípidos simples conjugados con moléculas no lipídicas	ASOCIADOS

1. GRASAS Aceites Esteres de Glicerol Acidos Monocarboxilicos	1. FOSFOLIPIDOS Esteres que contienen ácido fosfórico en lugar de un ácido graso combinado con nitrógeno.	1. ACIDOS GRASOS (Derivado de los lípidos simples)
2. CERAS-ESTERES de alcoholes mono- hidroxilados y ácidos grasos	2. GLUCOLIPIDOS Compuestos de carbohidra- tos, ácidos grasos y esfinbo- sol, llamados también cerebrósidos.	2. PIGMENTOS
	3. LIPOPROTEINAS Compuestos de lípidos y proteínas.	3. VITAMINAS LIPOSOLUBLES
		4. ESTEROLES
		5. HIDROCARBUROS

Fuente: Badui Dergal Salvador (1990) Química de los Alimentos, Ed. Alhambra Mexicana;
pp. 214.

1.3 ACIDOS GRASOS

Las grasas y los aceites son los lípidos más abundantes e importante; ambos grupos están constituidos de triacilglicéridos, los que a su vez son ésteres de ácidos grasos con glicerol. Entre las grasas y aceites las diferencias en estabilidad (tendencia a la oxidación), el comportamiento, la plasticidad, el estado físico, el patrón de cristalización, el índice de yodo, la temperatura de solidificación de las grasas y los aceites se deben fundamentalmente a la presencia y a la concentración de los ácidos grasos constituyentes (7).

Los ácidos grasos, se definieron como ácidos monocarboxílicos de cadena alifática con número par de átomos de carbono que podían ser saturados o insaturados, sin embargo, a medida que las técnicas de análisis cuantitativo mejoraron, se identificaron muchos otros con estructuras diferentes, tales como ácidos cíclicos, ramificados, hidroxilados, con número de átomos de carbono (1).

La nomenclatura se basa principalmente en el empleo de los nombres comunes, por ejemplo butírico, cáprico, etc. o bien añadiendo la terminación "oico" a la raíz griega que indica el tamaño de la cadena de átomos de carbono; su numeración generalmente comienza a partir del grupo carboxílico cuyo carbono corresponde al número uno (1).

1.3.1 ACIDOS GRASOS SATURADOS

Estos compuestos están constituidos principalmente por ácidos de 4 a 24 átomos de carbono, su temperatura o punto de fusión aumenta con el peso molecular o tamaño de la molécula; así, los de C_4 a C_8 son líquidos a $25^\circ C$, mientras que los de C_{10} en adelante son sólidos; su solubilidad en agua es inversamente proporcional al peso molecular (1,18).

Los ácidos grasos saturados son mucho más estables a los diversos mecanismos de deterioro de las grasas que los insaturados; sin embargo, en condiciones de temperatura muy alta

(mas de 200 °C), como llega a suceder en el frito de los alimentos y en presencia de oxígeno, puede sufrir reacciones de deterioro (1).

1.3.2 ACIDOS GRASOS MONOINSATURADOS

Estos compuestos tienen una gran reactividad química, son propensos a transformaciones oxidativas y de isomerización. Son muy abundantes en los aceites vegetales y marinos, su temperatura de fusión disminuye con el aumento de las dobles ligaduras y esta siempre es menor que la de los saturados con un mismo número de átomos de carbono. Los que contienen solo una insaturación se llaman monoenoicos o monoinsaturados.

La mayoría de ellos presentan doble ligadura entre los átomos de carbono 9 y 10 (1,18).

En términos generales los ácidos grasos monoinsaturados de configuración cis presentan temperaturas de fusión menores que los correspondientes trans para el mismo tamaño de moléculas; esto se observa entre el ácido oleico, (que aún a bajas temperaturas permanecen líquidos) y el ácido eláidico (que se sintetiza en la hidrogenación comercial) funde a 44°C (1).

El número de posibles isómeros geométricos de un ácido graso aumenta considerablemente cuando existe más de una doble ligadura; con dos se generan cuatro isómeros:

- Cis - Cis
- Cis - Trans
- Trans - Cis
- Trans - Trans

La presencia de cada uno de ellos influye considerablemente cuando existe más de una doble ligadura en las características físicas y químicas de los lípidos (1,18).

1.3.3 ACIDOS GRASOS POLIINSATURADOS

Los poliinsaturados tienen sus dobles ligaduras no conjugadas, es decir, están separadas por un grupo metileno, como ocurre con los ácidos linoléico, linolénico y araquidónico (1).

Se dice que los aceites poliinsaturados son capaces de remover el colesterol, los ácidos pueden presentarse en forma de cis o trans, en las grasas naturales solo se presenta el isómero cis y éste puede cambiar a trans si la grasa o el aceite se calienta, hidrogena o se pone en contacto con catalizadores (27).

En el cuadro 2 se presentan los ácidos más comunes en alimentos.

CUADRO 2
ACIDOS GRASOS MAS COMUNES EN ALIMENTOS

NOMBRE COMUN	NOMBRE SISTEMATICO	FORMULA MOLECULAR	ALIMENTO
Saturados			
Ac. Butírico	n-butanoico	$C_4H_8O_2$	Mantequilla (2.5-4.5 %)
Ac. Caproico	n-hexanoico	$C_6H_{12}O_2$	Mantequilla (1-2 %)
Ac. Caprílico	n-octanoico	$C_8H_{16}O_2$	Grasa de coco (6-8 %)
Ac. Cáprico	n-decanoico	$C_{10}H_{20}O_2$	Mantequilla, aceite de palma
Ac. Láurico	dodecanoico	$C_{12}H_{24}O_2$	Manteca de laurel (88 %)
Ac. Mirístico	tetradecanoico	$C_{14}H_{28}O_2$	Ac. Nuez palma (45-50 %)
Ac. Palmítico	hexadecanoico	$C_{16}H_{32}O_2$	Manteca de cacao (25-35 %)
Ac. Estearico	octodecanoico	$C_{18}H_{36}O_2$	Sebo (30 %)
Ac. Aráquico	eicosanoico	$C_{20}H_{40}O_2$	Ac. de cacahuate
Ac. Behénico	docosanoico	$C_{22}H_{44}O_2$	Ac. cacahuate y colza
Ac. Lignocérico	tetracosanoico	$C_{24}H_{48}O_2$	Ac. cacahuate y colza
Ac. Cerótico	hexacosanoico	$C_{26}H_{52}O_2$	Indicios en aceites vegetales
Monoinsaturados			
Ac. Caproleico	-9.10-decenoico	$C_{10}H_{18}O_2$	Mantequilla
Ac. Miristoleico	-9.10-tetradecenoico	$C_{14}H_{26}O_2$	Ac. de pescado
Ac. Palmítoleico	-9.10-hexadecenoico	$C_{16}H_{30}O_2$	Ac. de pescado
Ac. Petroselinico	-6.7-octadecenoico	$C_{18}H_{34}O_2$	Ac. de umbelíferas
Ac. Oleico	cis-9.10-octadecenoico	$C_{18}H_{34}O_2$	En todos los aceites
Ac. Eláidico	trans-9.10-octadecenoico	$C_{18}H_{34}O_2$	Grasas hidrogenadas
Ac. Vaccénico	trans-11.12-octadecenoico	$C_{18}H_{34}O_2$	Sebo (1-2 %)
Ac. Eufórbico	-11.12-icosenoico	$C_{20}H_{38}O_2$	Ac. de euforbiáceas
Ac. Erúxico	-13.14-docosenoico	$C_{22}H_{42}O_2$	Ac. de crucíferas
Ac. Selacoleico	-15.16-tetracosenoico	$C_{24}H_{46}O_2$	Ac. de pescado
Acidoximénico	-17.18-hexacosenoico	$C_{26}H_{50}O_2$	Grasas de ximeniáceas
Poliinsaturados			
Ac. Linoleico	-9.10-12.13-octadecadiénico	$C_{18}H_{32}O_2$	Grasas vegetales
Ac. Linolénico	-9.10-11.12-15.16-octa- decatríenico	$C_{18}H_{30}O_2$	Ac. de linaza
Ac. Elaeosteárico	-9.10-11-12-13.14-octadeca- triénico	$C_{18}H_{30}O_2$	Ac. de madera de China
Ac. Parinárico	-9.10-11.12-12.14-15.16- octadecatriénico	$C_{18}H_{28}O_2$	Grasa de parinarium
Ac. Araquidónico	-5.6-8.9-11.12-14.15-eicosa tetraénico	$C_{20}H_{32}O_2$	Grasa animal de depósito
Ac. Clupanodónico	-4.5-8.9-12.13-15.16-19.20- docosapentaénico	$C_{22}H_{34}O_2$	Aceite de pescado
Ac. Nisico	-4.5-8.9-12.13-15.16-18. 19-21.22- tetracosapentaénico	$C_{23}H_{36}O_2$	Aceite de sardina del Japón.

Fuente: Valdés Martínez Sara Esther (1979). Obtención de Aceite de Palma China "Yuca Filifera". TESIS.pp.12

1.4 OXIDACION DE LIPIDOS

1.4.1 AUTOXIDACION

Los sustratos de estas reacciones son, principalmente, los ácidos grasos insaturados; cuando están libres se oxidan, por lo general, más rápidamente que cuando son parte de moléculas de triglicéridos o fosfolípidos. Pero sobre todo es el grado de insaturación el que influye en la velocidad de oxidación. Los ácidos grasos saturados solo se oxidan a temperaturas superiores a 60°C, mientras que los ácidos grasos poliinsaturados se oxidan incluso durante el almacenamiento de los alimentos en estado congelado. El principal problema planteado por las reacciones de oxidación de los lípidos reside en la formación de compuestos volátiles de olor desagradable, lo que puede limitar el tiempo de conservación de numerosos alimentos, aunque tengan tan solo menos del 1 % de lípidos. Cuando esto ocurre, los principales sustratos de oxidación, frecuentemente, fosfolípidos insaturados, tales como: Lecitinas de las membranas celulares y subcelulares (3).

En la Figura 1 se esquematiza las tres reacciones de oxidación de los lípidos.

La reacción antes esquematizada se describe con detalle a continuación

A). INICIACION

La absorción de oxígeno exige la intervención de radicales libres; esto explica que al comienzo de la oxidación exista un periodo de inducción, hasta que la concentración en radicales libres alcanza un cierto nivel como lo muestra la figura 2.

ACIDO GRASO NO SATURADO RH

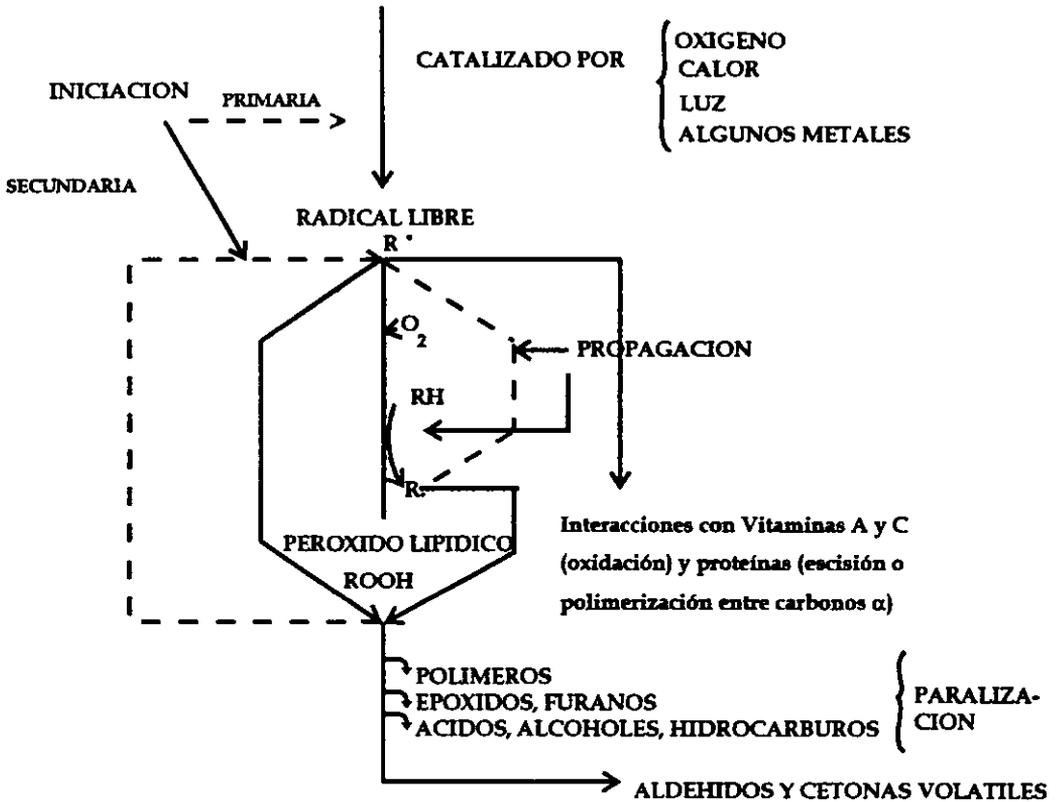


Fig. 1 Reacciones de Oxidación de los lípidos

FUENTE: Cheftel Jean Claude, Cheftel Henri (1988). Introducción a la Bioquímica y Tecnología de los Alimentos Vol. 1; Ed. Acribia, pp. 266

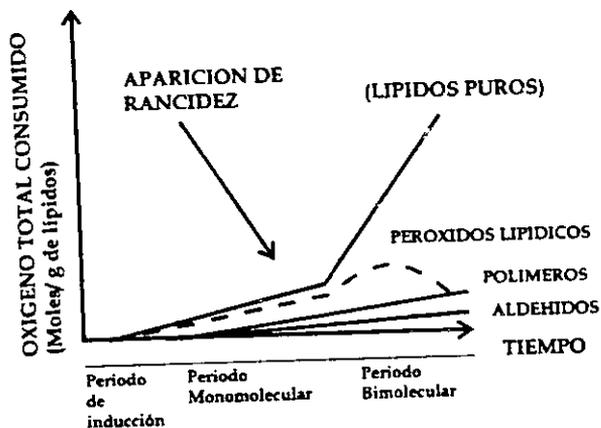
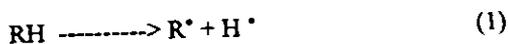


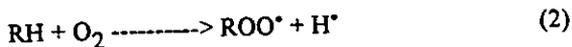
Fig. 2. Consumo de Oxígeno en Función del Tiempo

FUENTE: Cheftel Jean Claude, Cheftel Henri (1988).
Introducción a la Bioquímica y Tecnología
de los Alimentos, Vol. 1; Ed. Acribia.; pp. 266

Es decir, las reacciones de iniciación primaria que intervienen y cuyo mecanismo exacto aún no está completamente esclarecido son del tipo:



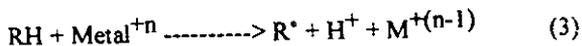
radical
alcoholo



radical
peroxi

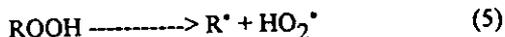
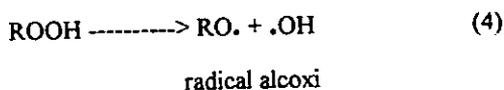
Estas reacciones tienen una energía de activación elevada (35 a 65 kcal/mol) lo que explica que sean difíciles y poco probables; sin embargo, pueden estar favorecidas por temperaturas

elevadas y sobre todo por la luz y por trazas de ciertos metales, incluidos los que están presentes en la clorofila y en la mioglobina.

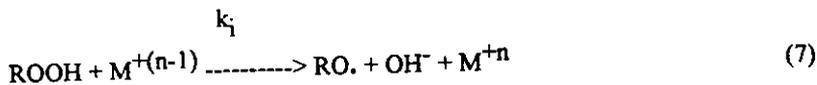
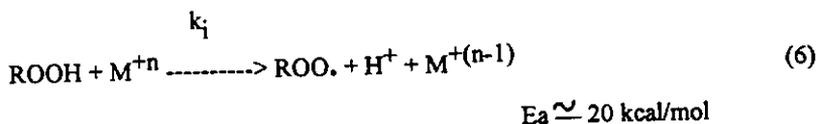


Estos catalizadores actúan probablemente por intermedio de la formación de compuestos de O_2 (0.0), lo que explica su importante papel en las reacciones de oxidación de los lípidos.

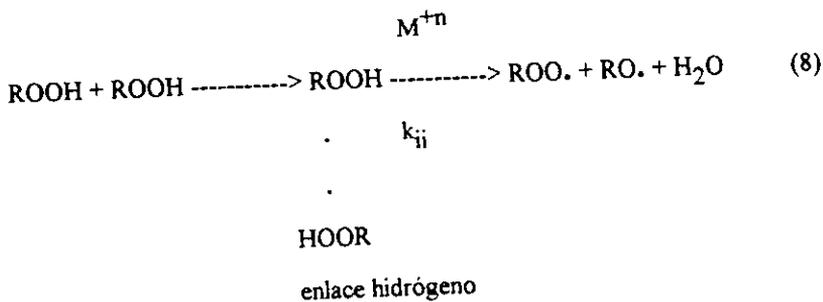
Cuando la reacción está más avanzada y el contenido en peróxido aumenta, surge la llamada "Iniciación secundaria", motivada esencialmente por la descomposición de peróxidos; esta descomposición puede ser "mono o bimolecular", según la concentración de peróxidos en la muestra:



Las energías de activación de estas dos reacciones son elevadas, pero se reducen por la luz y catalizadores metálicos:



En el caso de la descomposición bimolecular, se supone que interviene un dímero de peróxido:



La energía de activación de esta reacción es en torno a 25 kcal/mol.

Existen iones metálicos que actúan como catalizadores en este tipo de reacciones, los más energéticos son el hierro, níquel, cobalto, cobre, y manganeso; el cambio de valencia más favorable es $2 \rightleftharpoons 3$. La hidratación del metal juega un papel importante, la presencia de agentes complejantes de los metales, especialmente ciertos compuestos fenólicos presentes de forma natural al mismo tiempo que los lípidos retardan o inhiben la iniciación.

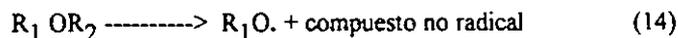
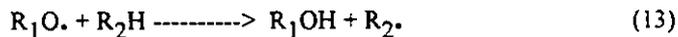
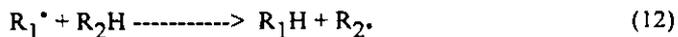
Frecuentemente la baja velocidad de las reacciones de iniciación constituye un factor limitante en la oxidación de los lípidos.

Las ecuaciones cinéticas, indican que la velocidad de oxidación es proporcional al contenido (o a la raíz cuadrada del contenido) en peróxidos. la mayoría de los alimentos que sufrieron un tratamiento tecnológico presentan un contenido de peróxidos relativamente elevados; por eso está favorecida la iniciación secundaria y la oxidación se inicia más rápidamente (2).

B). PROPAGACION

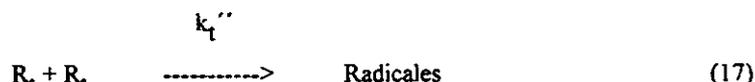
La propagación de la oxidación está constituida por una cadena de dos reacciones:

Las reacciones (9) y (10) no son las únicas posibles; en efecto, se pueden citar un gran número de reacciones de modificación de los radicales libres, como por ejemplo las siguientes (3):



C). PARALIZACION

Al mismo tiempo que las reacciones de iniciación y de propagación, se puede producir reacciones de paralización, que motivan la desaparición de cierta cantidad de radicales libres:



$$E_a \approx 5 \text{ a } 8 \text{ kcal/mol}$$

La primera de estas reacciones predomina cuando la presión parcial de oxígeno es elevada (>100 torrs).

Estas reacciones de paralización motivan la formación de compuestos muy diversos (3).

1.4.2 RANCIDEZ LIPOLITICA O HIDROLITICA

Este tipo de rancidez se da por la acción de las lipasas naturales del alimento o provenientes de microorganismos sobre el alimento.

Este fenómeno se ha estudiado en grasas provenientes de la leche, debido al hecho de que ocurre fácilmente en este sustrato, y también por la importancia que ello tiene en el gusto de distintos productos derivados del producto.

La lipasa de la leche está asociada de manera natural con las micelas de la caseína y cuando se efectúa la homogenización se pone en contacto la enzima con los glóbulos de la grasa, de manera que si no se pasteuriza o esteriliza inmediatamente, se favorece la lipólisis.

Los ácidos grasos liberados (butírico, capríco, caprílico y láurico) son solubles en grasas y los de menor peso molecular en agua, en el pH de 6.7 de la leche, los ácidos más hidrosolubles se encuentran principalmente como sales debido a que su pH es de aproximadamente 4.8. Los olores y sabores provocados por las sales son menos intensos que los de los ácidos libres. En el caso de la mantequilla, que tiene un elevado porcentaje de grasa, hay menos transferencia de ácidos grasos libres a la fase acuosa y por tanto el olor es más intenso, ya que no se producen sales.

A diferencia de otras reacciones enzimáticas, la lipólisis se puede efectuar en condiciones de actividad acuosa muy baja, como la que prevalece en la harina de trigo, esto se debe a que, si los triacilglicéridos están en estado líquido, tiene una gran movilidad y pueden, consecuentemente, favorecer el contacto con la lipasa y provocar la reacción.

La hidrólisis de los triacilglicéridos no solo se efectúa por la acción enzimática; también la provocan las altas temperaturas en presencia de agua, como ocurre durante el frito de los alimentos.

Por otra parte, muchos hongos y levadura que se encuentran comúnmente como contaminaciones, dado su sistema enzimático llegan a ocasionar severos problemas de lipólisis (1, 2, 4).

1.4.2 RANCIDEZ LIPOLITICA O HIDROLITICA

Este tipo de rancidez se da por la acción de las lipasas naturales del alimento o provenientes de microorganismos sobre el alimento.

Este fenómeno se ha estudiado en grasas provenientes de la leche, debido al hecho de que ocurre fácilmente en este sustrato, y también por la importancia que ello tiene en el gusto de distintos productos derivados del producto.

La lipasa de la leche está asociada de manera natural con las micelas de la caseína y cuando se efectúa la homogenización se pone en contacto la enzima con los glóbulos de la grasa, de manera que si no se pasteuriza o esteriliza inmediatamente, se favorece la lipólisis.

Los ácidos grasos liberados (butírico, capríco, caprílico y láurico) son solubles en grasas y los de menor peso molecular en agua, en el pH de 6.7 de la leche, los ácidos más hidrosolubles se encuentran principalmente como sales debido a que su pH es de aproximadamente 4.8. Los olores y sabores provocados por las sales son menos intensos que los de los ácidos libres. En el caso de la mantequilla, que tiene un elevado porcentaje de grasa, hay menos transferencia de ácidos grasos libres a la fase acuosa y por tanto el olor es más intenso, ya que no se producen sales.

A diferencia de otras reacciones enzimáticas, la lipólisis se puede efectuar en condiciones de actividad acuosa muy baja, como la que prevalece en la harina de trigo, esto se debe a que, si los triacilglicéridos están en estado líquido, tiene una gran movilidad y pueden, consecuentemente, favorecer el contacto con la lipasa y provocar la reacción.

La hidrólisis de los triacilglicéridos no solo se efectúa por la acción enzimática; también la provocan las altas temperaturas en presencia de agua, como ocurre durante el frito de los alimentos.

Por otra parte, muchos hongos y levadura que se encuentran comúnmente como contaminaciones, dado su sistema enzimático llegan a ocasionar severos problemas de lipólisis (1, 2, 4).

1.5 HISTORIA DE LOS ANTIOXIDANTES

El uso empírico de los antioxidantes es una práctica muy antigua para la conservación de los alimentos como carnes y pescados que eran cortados en trozos e impregnados de compuestos fenólicos del ahumado.

Posteriormente diversos científicos observaron que al adicionar ciertos compuestos a los alimentos estos eran capaces de retardar el deterioro; describieron las principales etapas que han marcado el descubrimiento de los antioxidantes y de su mecanismo de acción. Los nombres a retener son los de Deschamps farmacéutico de Avallon, que demostró el efecto antioxidante del benjui y de las yemas de álamo, de Chevril que puso en evidencia la acción de la madera de roble, de los hermanos Lumiere y de Seyewets que descubrieron el efecto antioxidante de la hidroquinona y de los compuestos análogos y por último de los Moureu y Dufraise que resumieron su trabajo en una memoria titulada(5):

“Catalyse et autoxidation; activite antioxygene et prooxygene”.

1.6 LOS ANTIOXIDANTES ALIMENTARIOS

1.6.1 DEFINICION

“Los antioxidantes son sustancias que adicionadas a las grasas o a los alimentos grasos, retardan la oxidación bloqueando los radicales peróxido al ceder un protón, o quelando los catalizadores como los metales pesados, o reduciendo la concentración de oxígeno disponible, o inhibiendo las lipoxidasas”. Un antioxidante debe reunir las siguientes características (4,6,7):

- No provocar efectos fisiológicos negativos
- No contribuir a la aparición de gusto, olor, o color extraños a la grasa o alimento.

- Ser efectivo a bajas concentraciones
- Ser liposoluble
- Persistir en el transcurso de las distintas manipulaciones y procesos
- Ser de fácil obtención
- Económico

1.6.2 CLASIFICACION

La clasificación de los antioxidantes se basa en el tipo de reacción que llevan a cabo al adicionarse al alimento.

Los bloqueadores de radicales peróxido son antioxidantes que funcionan como aceptores de radicales libres que dan lugar a radicales libres estables bloqueando así la oxidación en la fase de iniciación (5).

Entre las moléculas de origen natural o sintética, dotada de propiedades de est tipo, existe una lista que, sin ser exhaustiva, no deja de ser bastante completa, la elección por la industria alimentaria se ha dirigido a un número bastante restringido de compuestos (5).

Se trata de:

- Para los productos de origen sintético: el BHT, el BHA, el Galato de propilo, la TBHQ y por último la Etoxiquina por decir unos ejemplos.

- Para los productos de origen natural o existentes normalmente en ciertos alimentos, pero susceptibles de ser sintetizados los tocoferoles.

Hace falta advertir que la utilización de la Etoxiquina está muy restringida para la alimentación humana, es muy empleada contra el escaldado en peras y manzanas.

Ciertas moléculas son más o menos hidrosolubles (Galato de Propilo, TBHQ), pero en gran parte son liposolubles (5).

Los agentes sinérgicos son aquellos antioxidantes que al combinarse con otros antioxidantes aumenta la efectividad que la misma cantidad antioxidante simple (4,18). Los secuestrantes se encuentran en este tipo de antioxidantes y se define como “los compuestos de coordinación en el que un átomo, generalmente un metal, está unido mediante enlaces de coordinación a dos o más átomos de una ó más moléculas o iones, llamados quelantes o secuestrantes”, entre los que se encuentran el ácido cítrico, el ácido ascórbico y EDTA (1).

Los agentes reductores son antioxidantes que se definen como sustancias que pierden uno o más electrones y en este proceso se oxida (80). En este grupo encontramos al carbonato de sodio, sulfito de potasio, hipofosfito de sodio entre otros.

Por último antioxidantes que han despertado gran interés en años recientes y por su potencial que tienen de aplicación en alimentos.

En la Figura 3 se muestra la clasificación de los antioxidantes elaborada a partir de la reactividad que presentan los diferentes antioxidantes.

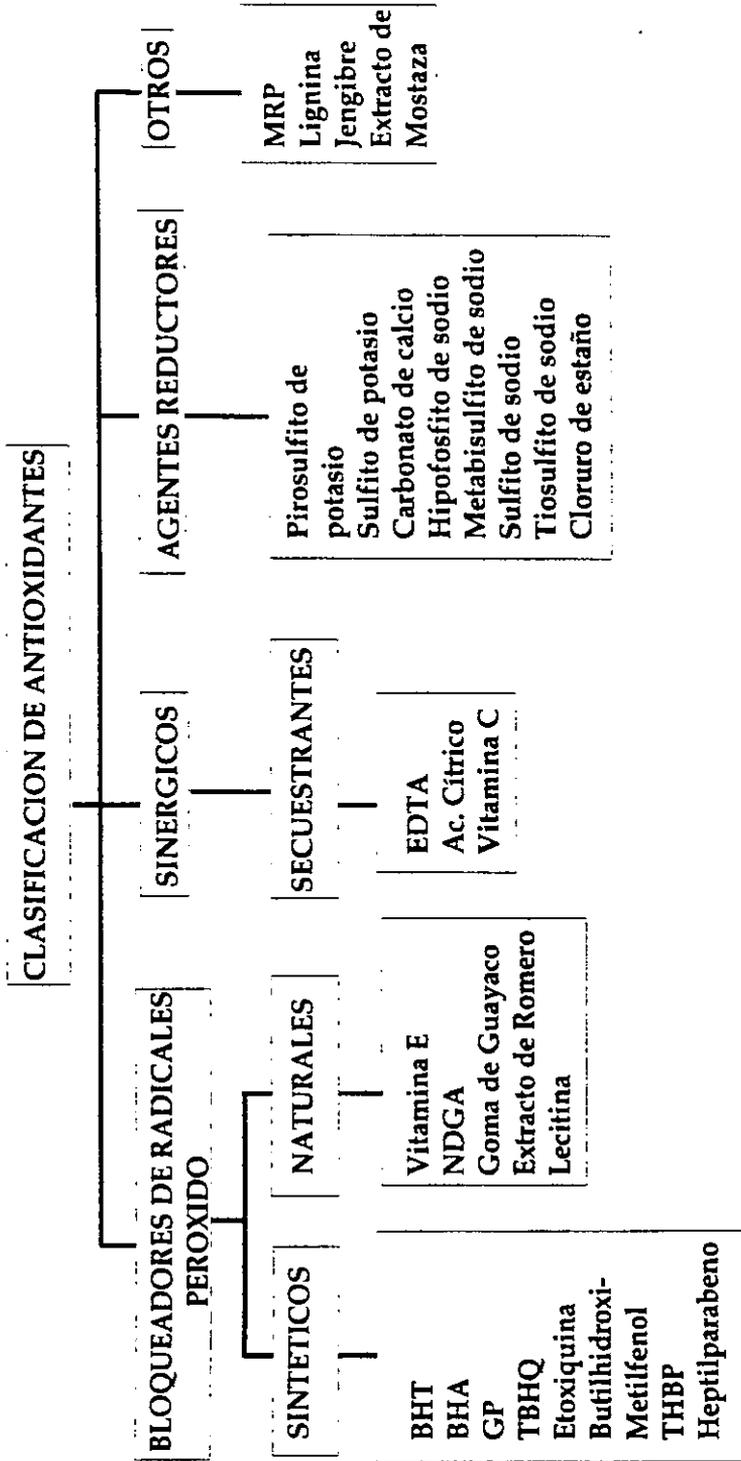


Fig. 3. Clasificación de Antioxidantes en base a su reactividad

2.0 BLOQUEADORES DE RADICALES PEROXIDO (SINTETICOS)

La mayoría de los antioxidantes sintéticos son compuestos fenólicos y son los más empleados en alimentos; corresponden a la fórmula general que se muestra en la Figura 4 (3):

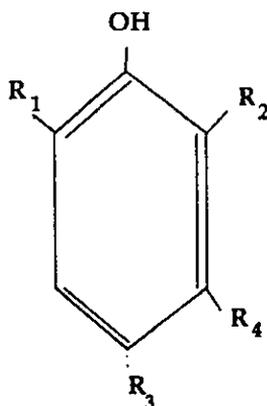


Fig. 4 Fórmula general de los compuestos fenólicos

FUENTE: Cheftel Jean Claude, Cheftel Henri (1988). Introducción a la Bioquímica y Tecnología de los Alimentos; Vol 1; Ed. Acribia pp. 280.

Los derivados orto y para son los más eficaces porque dan radicales libres relativamente estables, debido a la localización del electrón entre dos formas de resonancia, como se muestra en la Figura 5 (5).

El radical libre antioxidante es tanto más estable cuanto más grande sea el grupo sustituyente; sin embargo, la acción antioxidante disminuye (3).

Sherwin propuso un esquema muy simplificado del mecanismo de acción de tales moléculas (Fig. 6) (5).

Según este esquema las sustancias fenólicas funcionan como aceptores de radicales libres estables y bloqueando así la oxidación en la fase de iniciación. Tal mecanismo demuestra que la

acción de un antioxidante está por tanto limitada por el tiempo ya que carece de poder cuando la oxidación de las grasas está muy avanzada.

En cualquier caso, siempre hay que tener presente que un antioxidante no podrá proteger eficazmente productos en los que la autoxidación ya esté muy avanzada, puesto que él inhibe la propagación de la reacción en cadena, es decir, que interviene en la fase inicial de éste fenómeno (5).

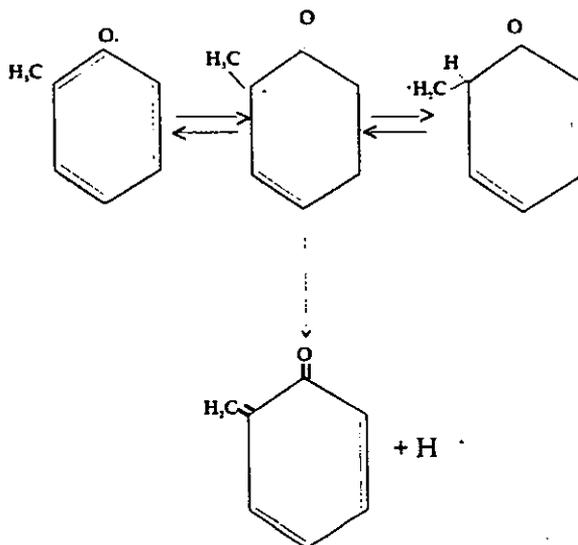
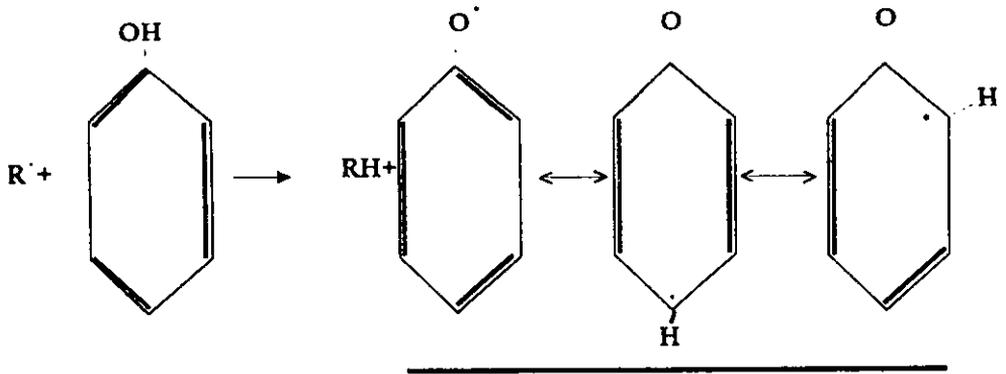


Fig. 5. Derivados orto y para

FUENTE: Cheftel Claude, Cheftel Henri (1988). *Introducción a la Bioquímica y Tecnología de los alimentos*; Vol. 1; Ed. Acribia; pp. 280



RADICAL
LIBRE
DE ACIDO
GRASO

+ FENOL

ACIDO
GRASO

RADICAL LIBRE
ANTIOXIDANTE
(Hibrido de resonancia
estable)

Fig. 6 Mecanismo de acción de un Antioxidante fenólico frente a un radical de ácido graso (según Sherwin 1976).

FUENTE: Multon J.L., Lapatre F. (1988). Aditivo y auxiliares de fabricación en las industrias agroalimentarias; Ed. Acribia pp. 162

2.1 **BHT (Butilhidroxitolueno)**

2.1.1 CARACTERISTICAS

Es uno de los antioxidantes fenólicos más utilizado en la industria de los alimentos (1). Su estructura química se muestra en la Figura 7:

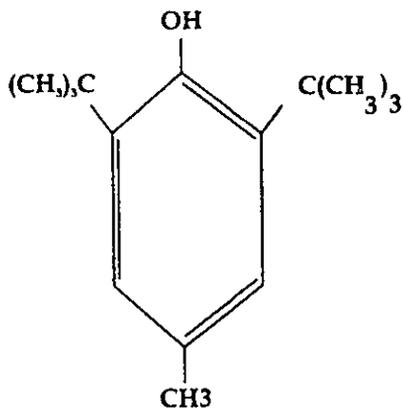


Fig. 7. Estructura Química del BHT
 FUENTE: Owen R., Fennema (1985). Food Chemistry;
 Ed. Marcel Dekker; pp. 199.

Es uno de los antioxidantes que es resistente al calor y se almacena en contenedores bien cerrados y lugares frescos. El BHT es soluble en alcohol y aceites; insoluble en agua y propilenglicol, presenta una alta acción sinérgica con el BHA (5,8,23). sus características fisicoquímicas se presentan en el Cuadro 3.

CUADRO 3

Características Fisicoquímicas del BHT

BHT (BUTILHIDROXITOLUENO)

Fórmula Molecular	$C_{15}H_{24}O$
Peso Molecular	220.39
Punto de Ebullición	265 °C
Punto de Fusión	70 °C
Densidad	1.048 g/cm ³
Densidad de vapor	7.600 g/cm ³

Presenta el inconveniente de tener aroma desagradable y evaporarse rápidamente; esto hace su empleo más difícil en alimentos deshidratados; su adición después de la deshidratación no resuelve siempre el problema porque puede ser insuficiente su penetración en el alimento (3).

Un aspecto benéfico es que tiene propiedades antimicrobianas. Como la *Salmonella typhimurium* es inhibida con 150 ppm de BHT (9,22).

El uso de antioxidantes está regulada por la legislación de los distintos países, por ejemplo la FDA permite su uso en concentraciones no mayores al 0.02 % en peso de BHT en lípidos (9,10).

La actividad de los antioxidantes puede valorarse mediante investigaciones comparadas, por ejemplo, con la ayuda del Factor Antioxidante (FA):

$$FA = I_a/I_o$$

Donde:

FA = Factor Antioxidante

I_a = Periodo de inducción de la grasa con antioxidante

I_o = Periodo de inducción de la grasa sin antioxidante

Por tanto un antioxidante es más activo cuanto mayor sea su FA. En el Cuadro 4 se ilustra un ejemplo de una muestra de manteca de cerdo refinada, en la cual la mayor actividad corresponde al BHA. Esto es comprensible puesto que la reacción del BHT con radicales está dificultada por ambos restos de butilo que son muy voluminosos (7).

CUADRO 4

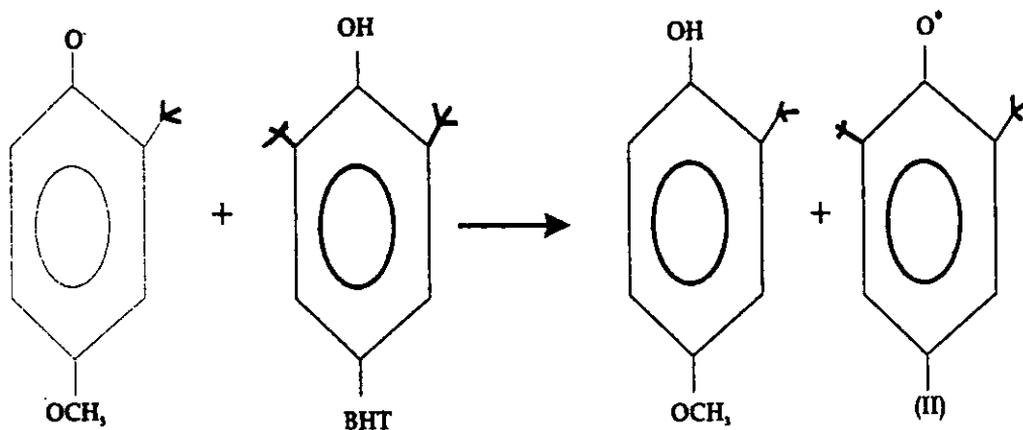
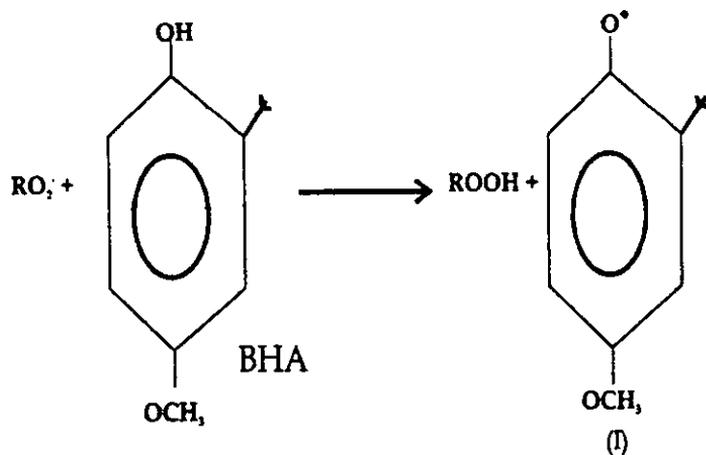
Adición de 0.02 % de diversos Antioxidantes a manteca de cerdo refinada

Antioxidante	FA
d- α -tocoferol	5
BHA	9.5
BHT	6
Galato de octilo	6
Palmitato de ascorbilo	4

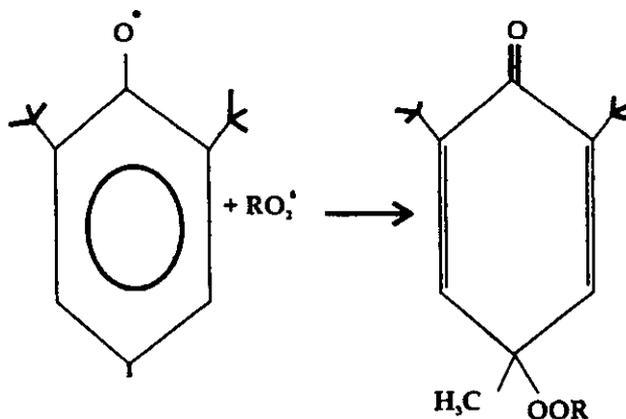
FUENTE: Belitz H.D., Grosh W. (1988). Química de los Alimentos; Ed. Acribia; pp.185

Para alcanzar este efecto se supone:

“El radical fenoxi (I) del BHA es regenerado mediante una reacción posterior con el BHT”



El radical fenoxi (II) derivado del BHT puede secuestrar otro radical peróxido:



El galato de propilo potencia la acción antioxidante del BHA pero no la del BHT (7).

2.1.2 METABOLISMO

El BHT se absorbe por el tracto gastrointestinal y se distribuye a través de la circulación enterohepática y diversos tejidos. Su baja excreción se atribuye más a la circulación enterohepática que a la acumulación en tejidos en el caso de la rata, mientras que en el hombre la circulación enterohepática no parece ser tan importante y la excreción biliar en metabolitos del BHT si lo es; la Figura 8 muestra los metabolitos del BHT (11).

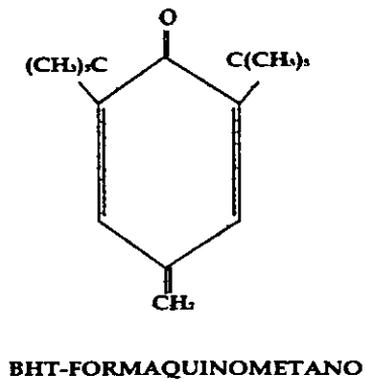
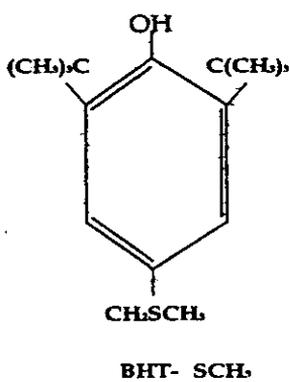
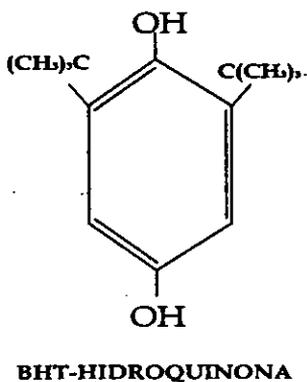
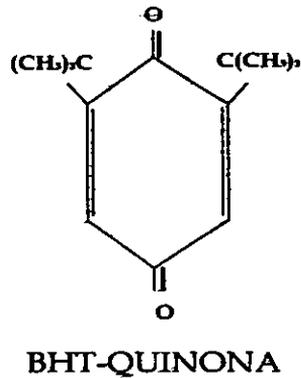
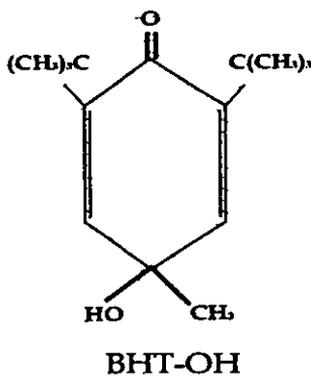
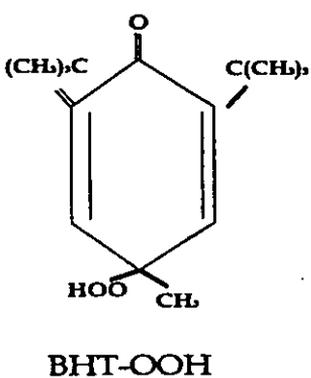
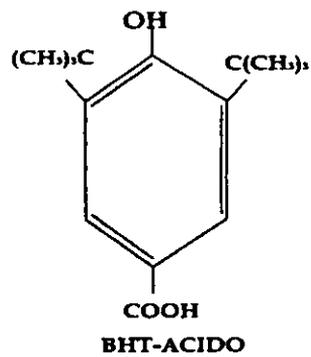
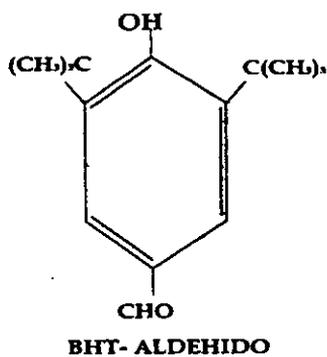
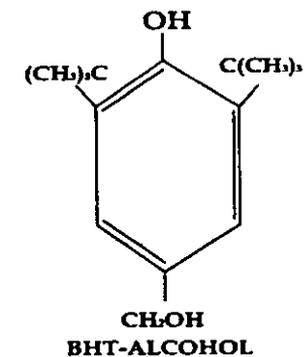


Fig. 8. Metabolitos del BHT

Fuente: Multon J.L., Lepatre F. (1988). Aditivos y auxiliares de Fabricación en las Industrias Agroalimentarias. Ed. Acribia; pp. 171.

2.1.3 TOXICOLOGIA

La DL₅₀ del BHT por vía oral en ratas es de 890 mg/kg y en ratones por vía intraperitoneal es de 138 mg/kg (8,11).

El BHT es un hepatóxico que provoca en roedores necrosis centrolobular y daño hepatocelular crónico con dosis repetidas de 250 mg/kg durante periodos prolongados de tratamiento, sin embargo, dosis de 25 mg/kg (aun superiores a las que suele ingerir el hombre) no han mostrado efectos sobre el hígado. El BHT es un cancerígeno débil, pero refuerza la actividad de otros cancerígenos tanto en el hígado como en el colon, vejiga y pulmón de mamíferos. La ingestión diaria admitida (IDA) ha recomendado una ingestión de BHT de 0.5 a 0.125 mg de BHT/kg (11,12).

Otro aspecto negativo en la utilización de BHT: "Inhibe la biosíntesis de prostaglandinas". A una concentración de 100.6 μ M de BHT inhibió un 50 % (con respecto de otros antioxidantes utilizados) la biosíntesis de prostaglandinas de la vesícula seminal de bovinos (13).

En un estudio realizado tuvo como finalidad analizar el efecto de los antioxidantes fenólicos sobre la calidad del alimento a camarones (*Penaeus monodon* Juveniles) y el crecimiento de los animales. Se elaboraron 5 dietas al 0.05 % de BHT, BHA GP y TBHQ. Después de 120 días se observó que los alimentos continuaron conservando sus características de color y sabor.

Al final del experimento los camarones alimentados con la dieta conteniendo BHT mostraron leves lesiones sobre el hepatopáncreas visualizado por la atrofia del túbulo epitelial de las células con respecto a otros antioxidantes. Se concluyó que el BHT es responsable de los cambios en el hepatopáncreas; sin embargo los niveles utilizados no fueron suficientes para tener un efecto negativo en el crecimiento del animal (19).

2.1.4 APLICACIONES

El BHT ha sido utilizado en leche en polvo, aceites grasas y otros productos. Los aderezos y los productos cárnicos, embutidos con un porcentaje elevado de agua requieren antioxidantes lipofílicos como el BHT. Se usa en pizza cruda o cocida, hojuelas de papa, gránulos de papa, carne seca, fermentos, cereales, carne de puerco y hamburguesas. En alimentos donde el oscurecimiento provocado por la reacción de Maillard es indeseable, el BHT ha mostrado ser efectivo en inhibir las reacciones y con esto el oscurecimiento (1,3,8,49).

Tiene alta actividad antioxidante en aceites vegetales, su actividad aumenta cuando se combina con otros antioxidantes como lo muestra el Cuadro 5 (13).

CUADRO 5

**Efecto sinérgico de algunos antioxidantes con el BHT
empleados en la conservación del aceite de pescado.**

Antioxidante	Estabilidad ^a (hrs)
Control	2
0.5 % Ac. cítrico	2
0.1 % c. fosfórico	2
2.0 % lecitina	5
1.0 % BHT	11
1.0 % BHT + 0.5 % ac. cítrico	16
1.0 % BHT + 2.0 % lecitina	36
1.0 % BHT + 0.1 % ac. fosfórico	38
1.0 % BHT + 1.0 % ac. fosfórico	270

^a Método del oxígeno activo

FUENTE: Badui Dergal Salvador (1988). Química de los Alimentos; Ed. Alhambra mexicana pp. 196.

En algunos casos el BHT se utiliza para preservar el color rojo en pescados (*Sebastes alascamus* y *Sebastes alutus*) del Golfo de Alaska; especies muy apreciadas en el mercado japonés, valor que reside en el color rojo de su piel.

Los responsables del color son los carotenoides Astaxantina y Tunaxantina que son extremadamente inestables, ya que su degradación es similar a la de los lípidos, por ejemplo por autooxidación (provocada por oxígeno atmosférico $3O_2$) y oxidación fotosensibilizada (provocada por oxígeno puro O_2) (13).

El Cuadro 6 muestra la aplicación del BHT y la concentración permitida por la FDA para ciertos alimentos:

CUADRO 6

Adición de BHT permitida en alimentos en ppm basado en el peso total del alimento.

Alimento	BHT (ppm)
Cereales para desayuno	50
Base para goma de mascar	1000
Emulsión estabilizadora de mantequilla o manteca	200
Carnes secas	100
Hojuelas de papa	50
Gránulos de papa	10
Trozos de papa	50
Arroz enriquecido	33
Salsas secas	30
Salsa fresca	100
Hojuelas de papa dulce	50

FUENTE: Furia E. Thomas (1975). Handbook of Food Additives, Ed. CRC PRESS. pp. 215

2.2 BHA (BUTILHIDROXIANISOL)

2.2.1 CARACTERISTICAS

El BHA fue el primer antioxidante usado en productos alimentarios en 1940. En experimentos de secado por congelación se utilizó una concentración de 27 % de BHA en un sistema modelo por 12.5 hrs en ácido linoleico en una monocapa de gel de sílica; el antioxidante conservó su actividad durante el secado. La Figura 9 muestra la estructura química del BHA (17).

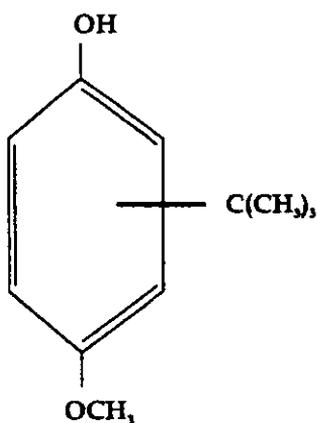


Fig. 9. Estructura Química del BHA
FUENTE: Comité on Codex Specifications (1981)
Food Chemical Codex; Ed. National
Academy Press; pp. 37.

El antioxidante BHA es un sólido blanco encerado, con un ligero olor característico, soluble en alcohol, en propilenglicol e insoluble en agua. Las características fisicoquímicas del BHA se muestran en el Cuadro 7 (7,8).

CUADRO 7

Características Físicoquímicas del BHA

BHA (BUTILHIDROXIANISOL)

Fórmula molecular	$C_{11}H_{16}O_2$
Peso molecular	180.27
Punto de fusión	48-63 °C

La Figura 10 muestra las formas de resonancia estables del BHA y la sustitución de anillos con grupos alquilo, tales como el grupo Tert butilo. La actividad antioxidante de la molécula se reduce debido al impedimento estérico (16).

El BHA es un antioxidante volátil a temperaturas elevadas y en presencia de vapor de agua (7). La concentración permitida es de 0.02 % (200 ppm) en peso del BHA. Es un antioxidante que presenta propiedades antimicrobianas; a 400 ppm de BHA se inhibió completamente a *Salmonella typhimurium*, a 150 ppm *Staphylococcus aureus* fue inhibido en un 93 a 100 % y a 100 ppm se inhibió la formación del *Staphylococcus aureus*, también tiene propiedades antifúngicas e inhibe la producción de aflatoxinas provenientes de *Aspergillus Niger* (9, 10, 22).

En California, EUA se prefiere no usar el BHA ya que no queda determinado en forma satisfactoria su posible implicación con cáncer (92).

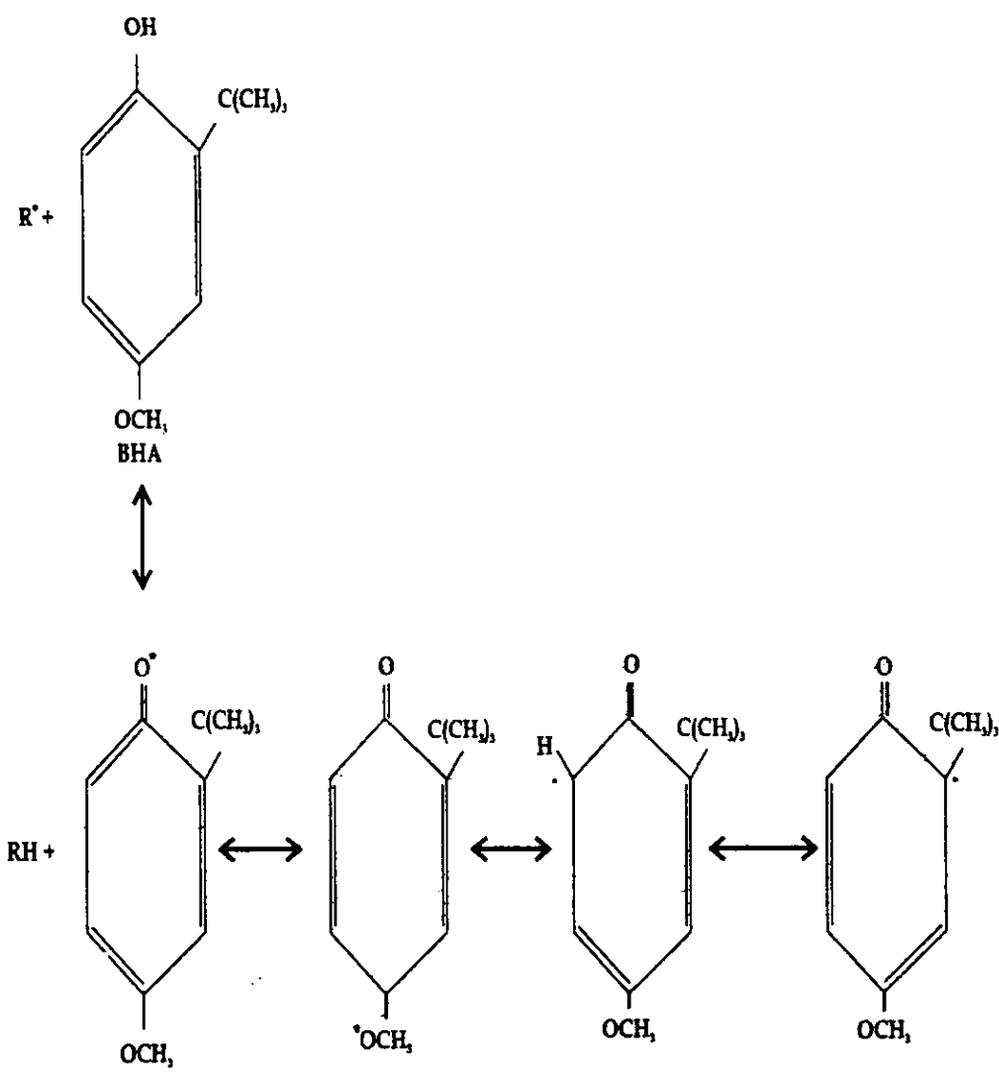


Fig. 10. Formas de resonancia estables del BHA.
 FUENTE: Furia E. Thomas (1975). Handbook of Food Additives
 Ed. CRC PRESS; pp. 195.

2.2.2 METABOLISMO

El BHA se absorbe por el tracto gastrointestinal y se excreta fundamentalmente por la orina como un conjugado glucorónico (11).

2.2.3 TOXICOLOGIA

La DL_{50} por vía intraperitoneal en ratas es de 2200 mg/kg y para conejos por vía oral es de 2100 mg/kg (8,28).

El efecto toxicológico más relevante del BHA es la carcinogénesis del preestómago de roedores, demostrada con concentraciones del 2 % en la dieta, pero no con concentraciones de 0.5 % en la dieta (11,50).

En especies como el ser humano que no tienen preestómago no hay evidencias de afectaciones en el esófago o estómago, no existe evidencia sobre su mutagenicidad lo que ha conducido a que el BHA se mantenga como aditivo autorizado. La Ingesta Diaria Admitida (IDA) ha sido reducido de 0.5 hasta 0.3 mg/kg de peso corporal (11).

Estudios realizados en 1984 demostraron que el BHA no es genotóxico y en 1985 se mostró que animales como el mono *Cynomolgus* no desarrollan hiperplasia en flora intestinal como resultado de la ingestión del BHA.

Inhibe la biosíntesis de prostaglandinas hasta en un 50 % utilizando 6.7 μ M de BHA en la vesícula seminal de bovinos (13).

2.2.4 APLICACIONES

El BHA es uno de los antioxidantes más usados en aceites esenciales como de limón, naranja y otros terpenos, ya que su oxidación es similar a la de los fosfolípidos y triglicéridos. El

antioxidante es adicionado al aceite después del procesamiento a baja temperatura para prevenir su degradación (16).

En bases para goma de mascar se adicionan aceites esenciales como agente saborizante. Cuando se oxida se vuelve quebradizo y produce olores y sabores desagradables; el BHA es efectivo para inhibir la oxidación (16).

En materiales de envase para cereales, cacahuates, etc., lleva una capa de cera, se adiciona una mezcla de antioxidantes (BHA y BHT) para evitar que ésta se oxide (16).

En bebidas preparadas a partir de mezclas secas, cereales, postres preparados a partir de mezclas secas, en frutas secas, pizza cruda o cocida, gránulos de papa, trozos de papa, salsas secas, salsa italiana fresca, hojuelas de papa dulces, carne de puerco (8,16).

En trozos de carne de puerco y res, su uso ha sido efectivo por su capacidad de ayudar a la retención del color (21,51).

En el Cuadro 8 se muestra la aplicación del BHA a diferentes alimentos y la concentración permitida por la FDA.

CUADRO 8

Adición de BHA permitida en varios alimentos en ppm basado en el peso total del alimento.

Alimento	BHA (ppm)
Bebidas y postres preparados a partir de mezclas secas	2
Cereales para desayuno	50
Base para goma de mascar	1000
Emulsión estabilizadora de manteca o mantequilla	200
Fruta cristalizada	32
Carnes secas	100
Hojuela de papa	50
Gránulos de papa	10
Papa en trozos	50
Salsa seca	30
Salsa, carne de puerco fresca	100
Hojuelas de papa dulce	50
Levadura activa seca	1000

FUENTE: Furia E. Thomas (1975). Handbook of Food Additives; Ed. CRC PRESS. pp. 215.

2.3 GP (GALATO DE PROPILO)

2.3.1 CARACTERISTICAS

El uso y propiedades del Galato de Propilo como antioxidante fueron patentadas en 1941. Es un éster del ácido gálico y ha mostrado ser mas efectivo que el mismo ácido; a altas concentraciones puede actuar como prooxidante, su estructura química se muestra en la Figura 11 (29).

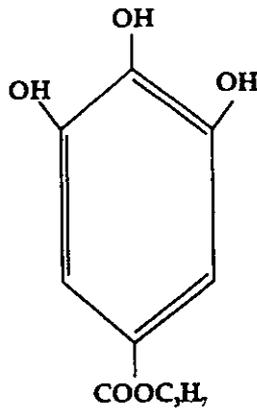


Fig. 11. Estructura química del Galato de Propilo.

FUENTE: Owen R. Fennema (1985). *Food Chemistry*;
Ed. Marcel Dekker; pp. 199.

El Galato de Propilo es un antioxidante inodoro, es un polvo color marfil de sabor ligeramente amargo; sus características fisicoquímicas se muestran en el Cuadro 9 (8).

CUADRO 9

Características Físicoquímicas del GP

GP (Galato de Propilo)

Fórmula Molecular	$C_{10}H_{12}O_5$
Peso Molecular	212.22
Punto de Fusión	147-149°C

De los ésteres del ácido gálico, el Galato de Propilo es el más empleado por el tamaño de la cadena alifática que lo hace ser más liposoluble. El Galato de Propilo es ligeramente soluble en agua, soluble en alcohol y éter, ver el Cuadro 10 que muestra la solubilidad del GP en diferentes solventes(1,8):

CUADRO 10

Solubilidad del Galato de Propilo

Solubilidad a 20 y 30°C (%)

Solvente	Galato de Propilo
Agua	0.35
Etanol	100.00
Propilenglicol	65.00
Glicerol	25.00
Grasas	1.00
Aceite mineral	0.5

FUENTE: Lundberg W.O. (1962). Autoxidación and Antioxidants, Vol. I; Ed. Interscience Publishers; pp. 517.

El Galato de Propilo tiene la peculiaridad de producir una coloración azul en los alimentos que contienen hierro, y son adecuados para sistemas con muy poca agua por ser hidrofílicos. Es inflamable cuando se expone al calor o flama, reacciona con materiales oxidantes, cuando se calienta emite humo color acre irritante. El Galato de Propilo no debe almacenarse en recipientes metálicos o usarse en productos cuya elaboración requiere de equipos que no sean de acero inoxidable (1,18).

Los antioxidantes fenólicos tienen un carácter ácido por lo que son compatibles con productos con pH menor de 7; el Galato de Propilo se inactiva en condiciones alcalinas como ocurre en mantecas usadas en panificación (1,18).

El Galato de Propilo pierde su efectividad en condiciones altas de temperatura; por lo que ésta condición lo hace no apto para aplicarse a alimentos que serán expuestos a altas temperaturas como procesos tales como el freído (9).

La FDA permite hasta un 0.02 % (200 ppm) en contenido de lípidos del alimento de Galato de Propilo; y ha mostrado ser más efectivo que el BHT y BHA como antioxidante, tal como se muestra en la Figura 12 (8,10).

En 1996 el Galato de Propilo mostró ser más efectivo en retardar la oxidación en secado por congelación (17).

A 3000 ppm de galato de Propilo reduce el número de colonias e inhibe el crecimiento, esporulación y producción de Pseumicelios de *Sacharomyces cerevisiae* (22).

2.3.2 METABOLISMO

Más del 70 % de Galato de Propilo ingerido se absorbe por el intestino y se excreta a través de la orina como ácido 4-O metil gálico libre o como un-conjugado glucurónido (11).

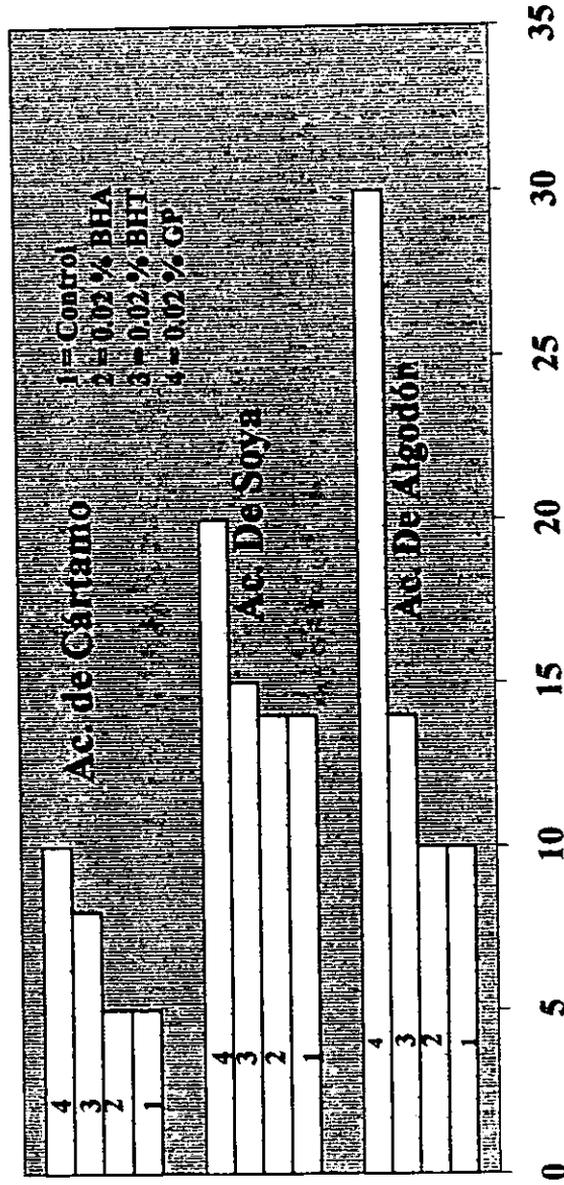


Fig. 12. Efecto del Galato de Propilo sobre la estabilidad de aceites con respecto a los demás antioxidantes.

FUENTE: Badui Dergal Salvador (1990). Química de los Alimentos; Ed. Alhambra Mexicana; pp. 263.

2.3.3 TOXICOLOGIA

La dosis letal media (DL₅₀) de Galato de Propilo por via oral para ratas es de 3,800 mg/kg (8,28).

El Galato de Propilo no ha mostrado evidencias de ser mutagénico, teratogénico, ni carcinogénico. Su toxicidad se caracteriza por la elevación de la actividad de enzimas hepático microsomales y citoplásmicos y solo a dosis muy altas (25,000 mg/kg) (11).

El comité mixto FAO/OMS en 1974 estableció una ingestión diaria admitida (IDA) de 0-0.2 mg/kg de peso corporal para la suma de los galatos. En 1980 se confirmó dicho parámetro, sin embargo, la comunidad económica europea ha ampliado la IDA hasta 0.5 mg/kg (11).

El uso de Galato de Propilo inhibe la producción de prostaglandinas hasta un 70 % en la vesícula seminal de bovinos a una concentración de 120 µM de GP (13).

Un estudio sobre el efecto que tiene el uso de antioxidantes sobre el crecimiento de camarones (*Penaeus monodon*); se concluyó que el Galato de Propilo provoca serias lesiones sobre el hepatopáncreas pero no influye en el crecimiento del animal (19).

Estudios toxicológicos del Propil Galato por la FAO en dietas para el hombre de 0.2 mg/kg en peso del antioxidante no mostraron evidencias de toxicidad por lo que puede ser usado como antioxidante (65).

2.3.4 APLICACIONES

El Galato de Propilo es muy activo en grasa de origen animal, aunque también se ha utilizado en aceites vegetales después de la refinación, en quesos fundidos y margarinas (2).

Una mezcla de Galato de Propilo, BHA y ácido cítrico son muy efectivos en estabilizar la degradación de la vitamina A; sin embargo, en años recientes se han implementado técnicas de encapsulación, previniendo con esto el contacto de la vitamina con el oxígeno (16).

El Galato de Propilo se utiliza en albóndigas cocidas o crudas, oleomargarinas, pizza cruda o cocida, papas a la francesa, salsa italiana (8),

En el Cuadro 11 se muestra la cantidad permitida del Galato de Propilo en diferentes alimentos.

CUADRO 11

Adición de GP permitida en varios alimentos en ppm basado en el peso total del alimento.

Alimento	GP (ppm)
Base para goma de mascar	1000
Carnes secas	100
Salsa y carne de puerco fresca	100
Empaques	50
Aceites esenciales	200
Salsas secas	30
Grasa animal	100
Margarina	200
Pollo (basado en contenido de grasa)	100

FUENTE: Furia E. Thomas (1975). Handbook of Food Additives; Ed. CRC PRESS, pp. 215.

2.4 TBHQ (TERBUTILHIDROXIQUINONA)

2.4.1 CARACTERISTICAS

El TBHQ es un antioxidante con olor característico, de cristales blancos, soluble en alcohol, éter e insoluble en agua (8). La Figura 13 muestra su estructura química.

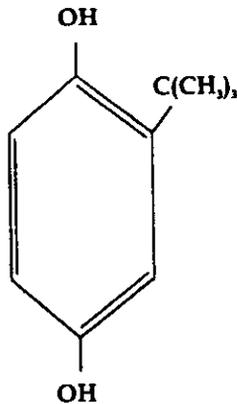


Fig. 13. Estructura Química del TBHQ.
 FUENTE: Own R. Fennema (1985). Food Chemistry;
 Ed. Marcel Dekker; pp. 199.

Las propiedades fisicoquímicas de la terbutilhidroquinona se muestran en el Cuadro 12.

CUADRO 12

Características fisicoquímicas de la Terbutilhidroquinona.

TBHQ (TERBUTILHIDROXIQUINONA)	
Fórmula Molecular	$C_{10}H_{14}O_2$
Peso Molecular	166.24
Punto de fusión	126.5-128.5 °C

El TBHQ fue aprobado para su consumo en 1972 por la FDA; en la comunidad económica europea no está permitido su uso (12).

En años recientes el TBHQ, es un compuesto que ha adquirido popularidad ya que ha desplazado al BHA y BHT por presentar una mayor estabilidad en aceites vegetales, tales como el aceite de cártamo, soya y algodón como lo muestra la Figura 14 donde el aumento en la estabilidad por adición de TBHQ es notoria (1,4).

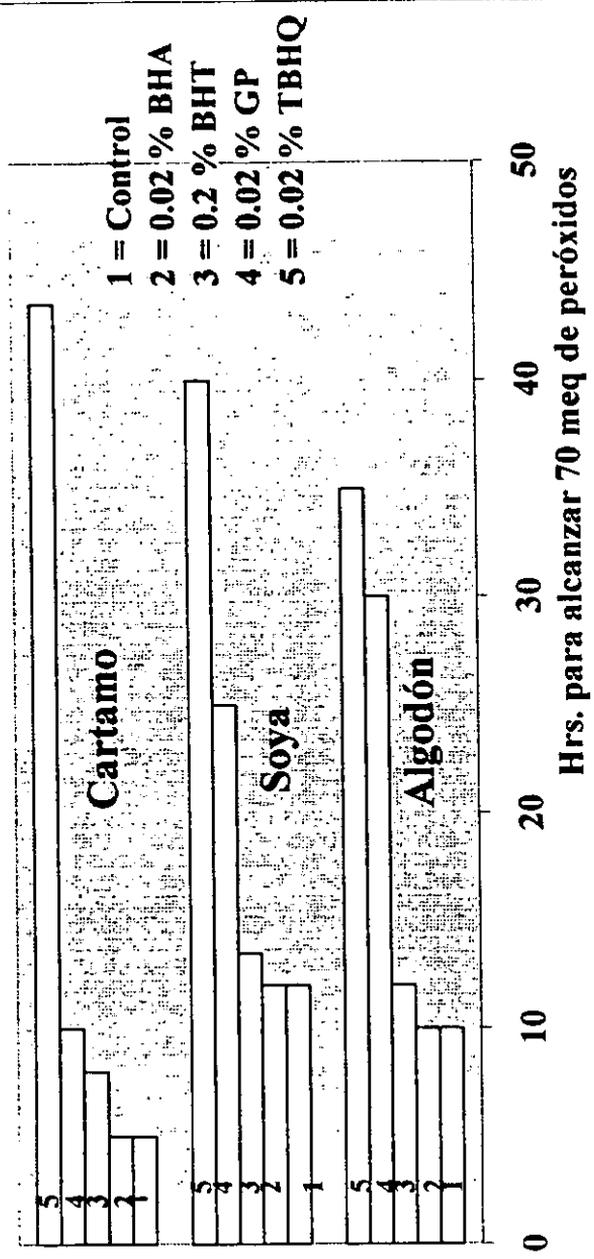


Fig. 14. Efecto del TBHQ sobre la estabilidad de aceites con respecto a otros antioxidantes utilizados

FUENTE: Badui Dergal Salvador (1990). Química de los Alimentos; Ed. Alhambra Mexicana; pp. 263.

El TBHQ presenta características antimicrobianas; a 300 ppm en peso inhibe el desarrollo de microorganismos fermentativos y algunos patógenos como la *Salmonella typhimurium*, *S. aureus*, *Pediococcus pentosaceus* (9,22).

El TBHQ es un antioxidante que protege a los aceites durante el freído de los alimentos (9).

Por monometilación del TBHQ se obtiene uno de los isómeros del BHA (17).

Desde 1970 ha disminuido el uso del BHA y BHT y ha aumentado el de TBHQ por presentar mejores características como antioxidante (66).

2.4.2 METABOLISMO

El TBHQ se absorbe por el tracto gastrointestinal y se excreta fundamentalmente por la orina como un conjugado glucurónico o éter-sulfatos (4,11).

2.4.3 TOXICOLOGIA

La DL₅₀ del TBHQ por vía oral en ratas es de 700 mg/kg y la DL₅₀ por vía intraperitoneal es de 300 mg/kg (8).

El TBHQ a una concentración de 0.5 % en dieta, no provoca hepatomegalia ni en perros ni en ratas (5).

El TBHQ no provoca hipertrofia hepática en ratas ni afecta a largo plazo la actividad de enzimas hepáticas (5).

No se han reportado efectos carcinogénicos al menos hasta el año 1982 (5).

No se han señalado efectos teratogénicos; las condiciones de reproducción de la rata no parecen afectados por la administración del antioxidante, sin embargo pueden atravesar la placenta (5).

El uso de TBHQ inhibe la biosíntesis de prostaglandinas hasta un 50 % en la vesícula seminal de bovinos (5,13).

El TBHQ es moderadamente tóxico por ingestión, y cuando se calienta emite humo irritante color acre (8).

2.4.4 APLICACIONES

El TBHQ se utiliza ampliamente en cereales, grasas comestibles, grasas de origen animal, margarinas, carnes secas, albóndigas cocidas o crudas, oleomargarinas, pizza cruda o cocida, carne de puerco, trozos de papas, pollo, salsas, salsas secas, salsa italiana fresca, aceites vegetales (8). En el Cuadro 13 se muestran los alimentos en los que se emplea TBHQ y la concentración permitida por ley.

CUADRO 13

Niveles de TBHQ permitidos en alimentos en ppm basado en el contenido de grasa.

Alimento	TBHQ (ppm)
Salsas secas	30
Grasas animales	100
Pollo	100
Margarina	100
Mezcla de TBHQ y BHA	60
Mezcla de TBHQ y BHT	60

En cereales, al adicionar TBHQ aumenta su vida de anaquel ya que se ha demostrado que las principales causas de deterioro en cereales es la autooxidación. Además se utiliza el TBHQ en los materiales de empaque mostrando éste ser el más efectivo (70).

El TBHQ adicionado a aceite de canola a una concentración de 100 ppm mostró ser altamente efectivo en retardar la rancidez oxidativa (71).

En carnes recién cocidas de res el TBHQ mostró ser un antioxidante efectivo a 0.02 % al retardar la oxidación durante 12 meses almacenadas a -20°C (79).

2.5 ETOXIQUINA (6-ETOXI-1,2-DIHI-DRO-2,2,4-TRIMETILQUINOLINA)

2.5.1 CARACTERISTICAS

La Etoxiquina es un líquido claro que puede oscurecerse con el tiempo y esto afecta la actividad antioxidante; la Figura 15 muestra la estructura química de la Etoxiquina (8,23).

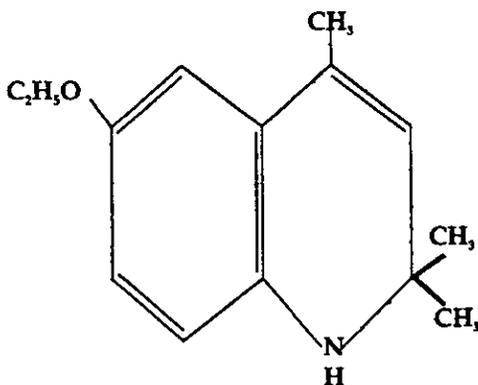


Fig. 15. Estructura Química de la Etoxiquina
FUENTE: Comité on Codex Specifications (1981).
Food Chemicals Codex; Ed. National
Academy Press; pp. 112.

La Etoxiquina se debe almacenar en contenedores de acero al carbón, o hierro negro; no se deben utilizar contenedores de caucho, neopreno o nylon; se deben colocar en lugares frescos y oscuros ya que ante una exposición prolongada a la luz, el antioxidante se polimeriza. Las características fisicoquímicas de la Etoxiquina se muestran en el Cuadro 14 (23).

CUADRO 14

Características Fisicoquímicas de la Etoxiquina

Etoxiquina (6-Etoxi-1,2-dihidro-2,2,4-trimetilquinolina)

Fórmula Molecular	$C_{14}H_{19}NO$
Peso Molecular	217.34
Punto de Fusión	$< 0^{\circ}C$
Punto de Ebullición	$125^{\circ}C$
Densidad de vapor	7.48 g/cm^3
Densidad	1.030 g/cm^3
Índice de Refracción	1.570
Gravedad Específica	1.020

La FDA permite hasta un 0.01 % (100 ppm) de Etoxiquina en alimentos. Es un combustible cuando se expone al calor o flama, puede reaccionar con materiales oxidantes, cuando se calienta se descompone y emite vapores tóxicos de NO_x (8,10).

2.5.2 METABOLISMO

La Etoxiquina se absorbe por el intestino y se excreta a través de la orina en forma de glucurónidos o éter sulfatos (4,11).

2.5.3 TOXICOLOGIA

La DL₅₀ de la Etoxiquina por vía oral en ratas es de 800 mg/kg. Es veneno por vía intraperitoneal y es moderadamente tóxica por ingestión (8).

La Etoxiquina ha demostrado que no influye en el crecimiento de camarones (*Penaeus monodon*), pero produce lesiones en el hepatopáncreas del animal (19).

A una concentración de 0.1 % o a dosis de 37.5 mg/kg de peso corporal por día de Etoxiquina es un inhibidor de las enzimas microsómicas (5).

La Etoxiquina provoca hemorragias en las cavidades pleurales y abdominales, así como hemorragias externas en ratas sin conducir a la muerte de los animales (5).

La Etoxiquina no ha mostrado efecto cancerígeno al menos demostrables hasta antes de 1982 (5).

La Etoxiquina puede reducir la frecuencia de aparición de anomalías hepáticas inducidas por la dietilnitrosamina en ratas que hayan sufrido una hepatectomía parcial (5).

La ingestión de Etoxiquina a concentraciones de 0.025 % a 0.1 % en la dieta, no tiene ninguna influencia sobre la reproducción de la rata (24). Es un antioxidante que inhibe la biosíntesis de prostaglandinas en la vesícula seminal de bovinos (5,13).

La Etoxiquina es capaz de actuar sobre la estructura histológica del riñón del conejo. En el hombre son capaces de producir reacciones alérgicas o de hipersensibilización con aparición de dermatitis, eczema o hiperqueratosis (5).

2.5.4 APLICACIONES

Se emplea contra el escaldado en peras y manzanas (5,26).

En un estudio realizado se utilizaron 1000 ppm de Etoxiquina para controlar el escaldado en peras d'Anjou (*Pyrus communis*, L.); lo cual se logró alcanzando hasta un tiempo de 4 meses y no tuvo problemas fitotóxicos la fruta; a 2700 ppm de Etoxiquina se controló el escaldado por 5

meses pero tuvo problemas fitotóxicos. El problema de fitotoxicidad es expresado en que la fruta tomó colores rosáceos u oscuros (25).

En otro estudio, para evitar la oxidación de α -Farneseno a trienos conjugados se empleó 1000 ppm de Etoxiquina en peras d'Anjou (*Pyrus communis*). Estos trienos conjugados obtenidos al oxidarse el α -Farneseno son los responsables de los problemas de escalde. La Etoxiquina resultó un antioxidante efectivo para evitar la oxidación e inhibir la biosíntesis de trienos conjugados (26).

Se utiliza en Chile en polvo, huevos, grasa de origen animal, pimiento (8).

A continuación el Cuadro 15 muestra las concentraciones permitidas por la FDA de la Etoxiquina en alimentos (8, 16).

CUADRO 15

Adición de Etoxiquina permitida en alimentos en ppm

Alimento	Etoxiquina (ppm)
Chile en polvo	100
Pimiento	100
Grasa de origen animal excepto pollo	5
Grasa de origen animal como la de pollo	3
Huevos	0.5
Hígado crudo	0.5
Pera	100
Manzana	100

2.6 BUTILHIDROXIMETILFENOL (4-HIDROXIMETIL-2,6-DI-TERT-BUTILFENOL)

2.6.1 CARACTERÍSTICAS

Es un polvo cristalino blanco, soluble en alcohol e insoluble en agua y propilenglicol (8,23). La estructura química del Butilhidroximetilfenol se muestra en la Figura 16.

Cuando se calienta emite humo color acre e irritante; se debe almacenar en contenedores bien cerrados (8,23). Sus características fisicoquímicas se muestran en el Cuadro 16.

La concentración permitida de este antioxidante en alimentos es de 0.02 % (200 ppm) (7,10).

El Butilhidroximetilfenol es producido sustituyendo un hidroxilo por un hidrógeno en el grupo metilo del BHT. Es más volátil que el BHT pero presenta comportamiento similar como antioxidante que el BHT (18).

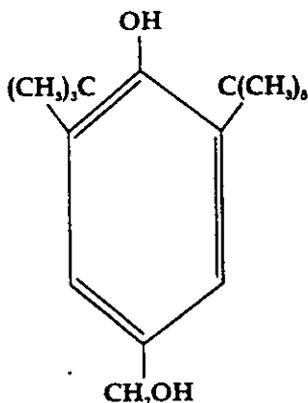


Fig. 16. Estructura Química del Butilhidroximetilfenol.
FUENTE: Comité on Codex Specifications (1981). Food
Chemicals Codex; Ed. National Academy
Press; pp. 43.

CUADRO 16

Características fisicoquímicas del Butilhidroximetilfenol

BUTILHIDROXIMETILFENOL

(4-HIDROXIMETIL-2,6-DI-TERT-BUTILFENOL)

Fórmula Molecular	$C_{15}H_{24}O_4$
Peso Molecular	236.35
Punto de Fusión	141 °C

2.6.2 METABOLISMO

El Butilhidroximetilfenol se absorbe por el tracto gastrointestinal y se excreta por la orina como un conjugado glucurónico o éter sulfatos (4,11).

2.6.3 APLICACIONES

Se usa principalmente en materiales de empaque a una concentración de 0.02 % (8).

En mezclas con otros antioxidantes se utiliza a una concentración del 0.02 %, ya que presenta sinergismo en su actividad (28).

2.7 THBP (2,4,5- TRIHIDROXIBUTIROFENONA)

2.7.1 CARACTERISTICAS

El THBP es un antioxidante de cristales color marrón-amarillo, es un antioxidante fenólico como lo muestra la Figura 17 (8).

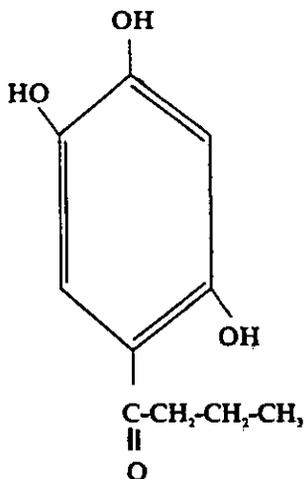


Fig. 17. Estructura Química del THBP.
 FUENTE: Badui Dergal, Salvador (1996).
 Diccionario de Tecnología de Alimentos.
 Ed. Alhambra Mexicana; pp. 236.

El THBP es soluble en alcohol y propilenglicol; ligeramente soluble en agua (8,28). Sus características fisicoquímicas se muestran en el Cuadro 17.

CUADRO 17

Características fisicoquímicas del THBP

THBP

(2,4,5-Trihidroxibutirofenona)

Fórmula Molecular	$\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{O}_4$
Peso Molecular	196.22
Punto de Fusión	153 °C
Densidad a 20 °C	0.7100 g/cm ³

Al calentarse emite humo color acre e irritante (8).

La concentración permitida para el THBP es no mayor del 0.02 % (8,9,10,28).

El THBP presenta actividad antioxidante similar a los galatos. Es un antioxidante poco usado en Estados Unidos (18).

2.7.2 METABOLISMO

El THBP se absorbe por el tracto gastrointestinal y se excreta por la orina como un conjugado glucurónico o éter sulfatos (4,11).

2.7.3 TOXICOLOGIA

La DL_{50} del THBP es de 200 mg/kg por vía intraperitoneal en ratones. Por vía intraperitoneal es venenoso (8).

2.7.4 APLICACIONES

Se utiliza en grasas y aceites a un 0.02 % y 0.005 % en materiales de empaque.

2.8 HEPTILPARABENO (n-HEPTIL-p-HIDROBENZOATO)

2.8.1 CARACTERISTICAS

El Heptilparabeno son pequeños cristales incoloros o polvo cristalino blanco, de ligero sabor y olor a quemado. La estructura química se muestra en la Figura 18 (8,23).

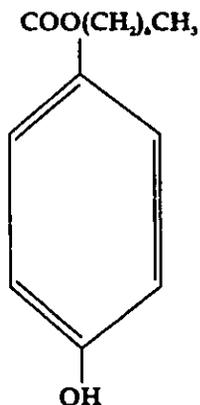


Fig. 18. Estructura Química del Heptilparabeno
FUENTE: Comité on Codex Specificatios (1981).
Food Chemicals Codex; Ed. National Academy
Press; pp. 142.

El Heptilparabeno es soluble en alcohol y eter e insoluble en agua. Esto se debe al tamaño del radical; sin embargo aumenta la efectividad como conservador contra hongos y levaduras a una concentración de 0.2 % en un pH de 3 a 9. Sus características fisicoquímicas se muestran en el Cuadro 18 (8,23,28).

CUADRO 18
Características fisicoquímicas del Heptilparabeno

HEPTILPARABENO	
Fórmula Molecular	$\text{C}_{14}\text{H}_{20}\text{O}_3$
Peso Molecular	236.31
Punto de Fusión	48-51 °C

2.8.2 METABOLISMO

El Heptilparabeno no presenta efecto tóxico al hombre, se excreta por la orina como ácido hipúrico (benzil-glicina) al reaccionar con la glicina en una reacción de detoxificación (1).

2.8.3 APLICACIONES

El Heptilparabeno se usa en cerveza y vinos a una concentración de 12 ppm, 20 ppm en bebidas no carbonatadas y bebidas de frutas, a 12 ppm en bebidas fermentadas malteadas (8).

3.0 BLOQUEADORES DE RADICALES PEROXIDO (NATURALES)

Entre los antioxidantes naturales, llamados así por ser extraídos de diferentes orígenes vegetales se encuentra el extracto de romero que manifiesta un gran poder antioxidante debido a la presencia de compuestos fenólicos como los ácidos clorogénico y rosmarínico (5).

La lecitina le debe su poder antioxidante a la cefalina que es un compuesto fenólico (45,47).

Numerosos aceites vegetales como la soya, maíz, algodón, contienen tocoferoles por lo que se encuentra en parte auto protegidas contra la oxidación (5).

Las grasas animales son deficientes en antioxidantes naturales. Por este hecho es más sensible a la autooxidación y es por esto que debe ser tratada con antioxidantes (85).

Una desventaja que no debe pasar por alto es que a altas concentraciones, los antioxidantes naturales actúan como prooxidantes (5,7).

Por el hecho de contener compuestos fenólicos, siguen el mismo mecanismo de acción de los antioxidantes sintéticos que ha sido descrita anteriormente.

3.1 VITAMINA E (TOCOFEROL)

3.1.1 CARACTERISTICAS

El tocoferol es un antioxidante que a nivel comercial es dl- α -tocoferol; es un líquido amarillo pálido, algo viscoso, se oxida y se oscurece en contacto con el aire y por acción de la luz; la estructura química se muestra en la Figura 19 (8,23,28).

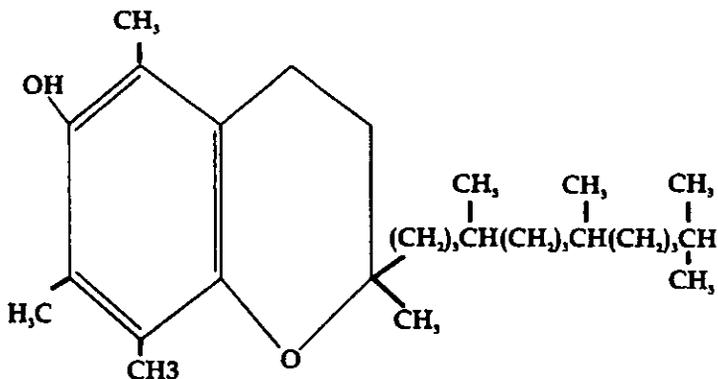


Fig. 19. Estructura Química de la Vitamina E.
 FUENTE: Comitee on Codex Specifications (1981).
 Food Chemicals Codex; Ed. National
 Academy Press; pp. 330.

La Vitamina E es soluble en aceite, etanol, cloroformo y éter; insoluble en agua (8,23,28).
 Sus características fisicoquímicas se muestran en el Cuadro 19.

CUADRO 19

Características fisicoquímicas de la Vitamina E

Vitamina E (Tocoferol)	
Fórmula Molecular	$C_{29}H_{50}O_2$
Peso Molecular	430.79
Punto de Fusión	2.5-3.5 °C
Densidad	0.950 g/cm ³
Punto de Ebullición	200-220 °C

Se almacena en contenedores que protejan a la vitamina E de la luz y calor y se le inyecta un gas inerte (23).

La vitamina E o tocoferoles α , β y δ poseen actividad vitamínica; esta actividad decrece en el sentido de α a δ mientras que la actividad antioxidante aumenta en el mismo sentido (4,7,18,29).

Los tocoferoles actúan como antioxidantes a bajas concentraciones; en concentraciones elevadas actúan como prooxidantes (5,18).

Como antioxidante natural no hay una concentración máxima permitida; su uso se limita en conformidad a buenas prácticas de manufactura (8,10).

La actividad antioxidante de los Tocoferoles depende de la temperatura a la que se empleen. A bajas temperaturas (25-35 °C) los Tocoferoles (α , β , δ) mostraron una actividad antioxidante igual entre ellos, pero a 95 °C el γ -Tocoferol fue más efectivo que α -Tocoferol. Otros trabajos, mostraron que la actividad no disminuye completamente durante la cocción o el freído, lo cual les da ventajas sobre otros antioxidantes (29).

A nivel industrial se emplean más como complemento alimenticio que como antioxidante por razones económicas (29).

Los Tocoferoles α , β , γ son formados por metilación del anillo cromano. Los otros 4 Tocoferoles se forman por metilación del núcleo bencénico del Tocol. Las estructuras de los Tocoferoles se muestran en el Cuadro 20 (1,29).

CUADRO 20

Estructura de los Tocoferoles

Tocoferol	Estructura
α , Alfa	5,7,8- Trimetiltocol
β , Beta	5,8-Dimetiltocol
γ , gama	7,8-Dimetiltocol
δ , Delta	8-Metiltocol
ϵ , Epsilon	5-Dimetiltocol
ζ , Zeta	5,7-Dimetiltocol
η , Eta	7-Metiltocol

FUENTE: Lundberg, W.O. (1962). Autoxidation and Antioxidants; Ed. Interscience Publishers, Vol. I; pp.488

La Vitamina E se encuentra en lechuga, alfalfa, germen de trigo y otros granos, leche, yema de huevo, pollo, pescado, aceite vegetal (4,90).

El cuerpo humano es incapaz de sintetizar estas sustancias; por lo que las obtiene a partir de la dieta (29).

Su acción antioxidante también se presenta en los lípidos en donde se encuentra naturalmente, pero debido a que tienen baja actividad como tal, generalmente a los aceites comestibles de uso casero e industrial se les adiciona antioxidantes sintéticos, como BHA y BHT (1,91).

Los Tocoferoles así como los antioxidantes fenólicos previenen la oxidación de lípidos al donar un átomo de hidrógeno a los radicales hidroperóxidos (30). La desventaja de la Vitamina E es que se oxida y provoca reacciones típicas de autoxidación y genera quinonas, sustancias dihidroxiladas y algunos polímeros (1).

La Vitamina E desempeña funciones como constituyente del sistema de transporte de electrónes, si bien se desconoce la índole exacta de la misma (31).

La autoxidación de una grasa no saturada no tiene lugar normalmente en las células, ya que se mantiene inalterada por la acción inhibitoria de la Vitamina E (32).

la Vitamina E disminuye el riesgo de cataratas y ha mostrado retardar la severidad de la diskinesia (movimientos involuntarios) (90,91).

3.1.2 METABOLISMO

No se conoce bien su función bioquímica en el cuerpo humano (1,31,32).

3.1.3 TOXICOLOGIA

Para este tipo de antioxidante (Vitamina E), los datos obtenidos son por deficiencia de la vitamina.

En una dieta deficiente en Vitamina E, en ratas, el macho es estéril como consecuencia de alteraciones degenerativas del testículo, sin que además, las hembras puedan completar la gestación, pues los embriones mueren. Los huevos de gallina deficientes de Vitamina E no se fecundan. La deficiencia se manifiesta por degradación tubular renal, pigmentación de los depósitos lipídicos, necrosis hepática y muscular (1,28,31,35).

Algunos investigadores creen que los efectos de la deficiencia de Tocoferoles puede atribuirse a la acumulación de peróxidos de ácidos grasos que reaccionan con otros componentes celulares y los destruyen (31).

Una deficiencia de Vitamina E provoca que el metabolismo del colágeno de la piel en ratas no fuera normal o no se metabolizara; y retarda la cicatrización de heridas en ratas (33).

La Vitamina E decrece la concentración de lípidos en el hígado de todos los animales y por lo tanto de colesterol (34).

Una deficiencia de Vitamina E, arginina y metionina influye en el crecimiento en ratas (34).

El uso de Vitamina E por vía oral reduce en un 50 % el riesgo de cáncer en hombres ingiriendo 419 UI/día, reduce el riesgo de enfermedades de corazón hasta un 40 % y en mujeres un 37 % ingiriendo 208 UI/día de Vitamina E (90,91).

3.1.4 APLICACIONES

Se utiliza como antioxidante en grasas animales a un 0.03 %, 30 % en grasa vegetales, 0.05 % en tocinos, 0.03 % en pollo. Se utiliza como nutrimento y suplemento alimenticio (8).

En salchichas Frankfurt el uso de tocoferoles a 0.01 % inhibe la oxidación de las mismas (36).

A una concentración de 8 % de α y γ -tocoferol actúa como antioxidante a 0.05 % en tocino reduce la formación de nitrosaminas pero no actúa como antioxidante (36).

Se usa en puré de papas deshidratadas ya que se consigue una mejor penetración del antioxidante hasta los fosfolípidos oxidables de las membranas celulares del tubérculo (3).

El α -Tocoferol combinado con tetrabutiriboflavina, aumenta la actividad antioxidante e inhibe la oxidación del ácido linoleico en emulsiones (40,43).

El α -Tocoferol es efectivo para inhibir la acción de la peroxidasa en zanahorias y berenjena a una concentración de 125 mg (41).

Su unidad internacional equivale a 1 mg de acetato de dl- α -Tocoferilo, a 0.909 mg de dl- α -Tocoferol o a 0.735 mg de acetato de d- α -Tocoferilo; las otras formas químicas tienen una acción biológica menor; la UI es de 1.75 mg de d- β -Tocoferol o 7 mg de d- γ -Tocoferol (1).

En carne de cerdo los Tocoferoles mostraron ser un efectivo antioxidante durante el almacenamiento (42).

El cerdo al ser alimentado con una dieta rica en Vitamina E; sus productos tales como hamburguesa de cerdo fue más estable a la oxidación (42).

El uso de Tocoferoles como antioxidantes está muy limitado, debido a su alto costo y por sus características de sabor y color (64).

3.2 NDGA (ACIDO NORDIHIIDROGUAYARETICO)

3.2.1 CARACTERISTICAS

Antioxidante que se encuentra en la planta desértica cigofilácea (*Larrea divaricata*) del norte de México, comúnmente llamada gobernadora. Fue aislada por primera vez en 1942; su estructura química se muestra en la Figura 20 (6,18,28,29).

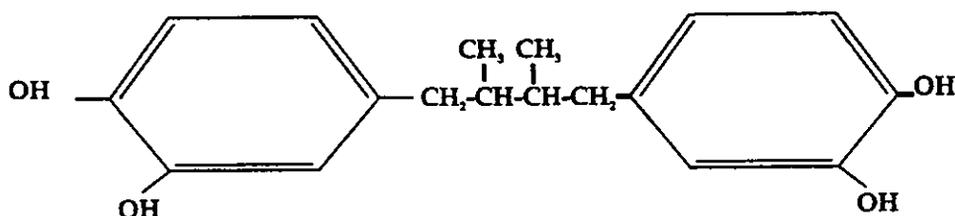


Fig. 20. Estructura Química del NDGA.

FUENTE: Badui Dergal, Salvador (1996). Diccionario de la Tecnología de los Alimentos; Ed. Alhambra Mexicana; pp. 33

Es un antioxidante que se encuentra en cristales; soluble en alcohol, acetona y agua caliente; insoluble en benceno y éter de petróleo (8,28). Sus características fisicoquímicas se muestran en el Cuadro 21.

CUADRO 21

Características fisicoquímicas del NDGA

NDGA

Acido Nordihidroguayarático

Fórmula Molecular	$C_{18}H_{22}O_4$
Peso Molecular	302.36
Punto de fusión	184 °C

La solubilidad del NDGA es limitada en aceites (0.5-1 %) pero mayores cantidades pueden disolverse si el aceite es calentado (125-150 °C).

El NDGA tiende a oscurecerse en presencia de hierro o cuando está sujeto a altas temperaturas, su actividad está influenciada por el pH, bajo condiciones alcalinas no presenta actividad alguna. Es efectivo en la prevención de la oxidación de grasas en carnes (18,29).

Cuando se enfría precipita y tan solo un 1 % permanece en suspensión. El uso del NDGA en manteca fue aprobado por la Meat Inspection Branch en 1943. Es un antioxidante fenólico, y como tal es mucho más activo en aceite vegetal que en grasas animales.

Se observó que el NDGA es más efectivo en grasas disueltas en sistemas acuosos a pH de 7.5 que en grasas secas. Este antioxidante no imparte sabores ni colores indeseables en alimentos (29).

3.2.2 TOXICOLOGIA

La DL_{50} por vía oral en ratas es de 2000 mg/kg y 1000 mg/kg en ratones. Es moderadamente tóxico por vía intraperitoneal. Cuando se calienta emite humo color acre e irritante. La FDA prohibió su uso en alimentos por presentar efectos tóxicos al riñón (8,29,92).

3.2.3 APLICACIONES

En Estados Unidos no se utiliza por su alto costo (1, 18, 29). Sólo se utiliza en materiales de empaque y embalaje a una concentración de 0.005 % (1, 8, 18, 28, 29).

3.3 GOMA O RESINA DE GUAYACO

3.3.1 CARACTERISTICAS

La resina de guayaco se obtiene del árbol cigofiláceo (*Guajacum officinale* y *G. sanctum*) de la familia *Zygophyllaceae*, que produce una resina amarilla-café. Está constituida de un 70 % de ácido α y β -Guayaconico, 11 % de ácido Guayácico, 15 % de Vainillina, guayacol y guayacina (8,23,28).

Su punto de fusión se encuentra entre 85-90 °C; es soluble en etanol, éter, cloroformo y soluciones alcalinas; ligeramente soluble en benceno e insoluble en agua (8,23,28,37).

La goma o resina de Guayaco se almacena en contenedores bien cerrados y en lugares frescos (23).

La goma o resina de Guayaco se usa a una concentración no mayor del 0.01 % del peso total del alimento. Su actividad antioxidante es mayor en grasas animales que en grasas vegetales (10,18,28).

En 1940 la goma de Guayaco fue el primer antioxidante aprobado para su uso en manteca por la Meat Inspection Branch of the Bureau of Animal Industry (29).

En algunos casos le confiere un sabor no desagradable a ahumado a los productos en que se emplea y puede ser removido por deodorización (29).

Es un antioxidante débil en comparación a otros antioxidantes; por lo que su uso está muy restringido (29).

En el Cuadro 22 es evidente que la goma de Guayaco es más efectiva en la inhibición de la oxidación en grasas animales que en aceites vegetales (29).

3.3.2 TOXICOLOGIA

La DL₅₀ por vía oral en cuyos adultos es de 1120 mg/kg (8).

La DL₅₀ por vía oral en ratas es de 5000 mg/kg (37).

CUADRO 22

Propiedades antioxidantes de la goma de Guayaco

Grasa	Conc. en % de goma de Guayaco	Estabilidad ^a en hrs
Grasa de leche	0.02	15 (10)
Manteca	0.01	10 (6)
Manteca	0.05	20 (6)
Manteca	0.10	24 (6)
Grasa de pollo	0.10	35 (22)
Aceite de semilla de Algodón	0.10	19 (15)
Aceite de Soya	0.10	17 (14)

a). Det. por el método del oxígeno activo excepto para la grasa de leche, dónde fue medido en hrs a 99 a 100 °C. La estabilidad de la grasa control es la que se encuentra en paréntesis.

FUENTE: Lundberg, W.O. (1962). Autoxidation and Antioxidants, Vol I; Ed. Interscience Publishers; pp.491

Moderadamente tóxico por ingestión y cuando se calienta emite humo color acre e irritante (8).

3.3.3 APLICACIONES

Además de su actividad antioxidante actúa como conservador. A 0.005 % se usa en materiales de empaque y 0.01 % en grasas de origen animal (8).

De la resina también se obtiene un aceite esencial de olor a rosas que se emplea como saborizante (28).

3.4 EXTRACTO DE ROMERO

3.4.1 CARACTERISTICAS

El Extracto de Romero se obtiene de un subarbusto labiado, *Rosmarinus officinalis L.* (Familia *Labiatae*); se obtiene por destilación con arrastre de vapor, hasta 1.2 % de un aceite esencial (8,23,28).

El extracto es un líquido amarillo que contiene Borneol (15 %), α -Pinoeno, Canfeno, Cineol, Linalol y otros compuestos, es soluble en etanol, de olor a especias refrescantes (28). El extracto de romero tiene una densidad de 0.894-0.912 g/cm³ y un índice de refracción a 20 °C de 1.464 (8).

La acción antioxidante del extracto de romero se debe a la presencia de sustancias fenólicas tales como el ácido Carnósico y ácido Rosmarínico (6,90)

En 1997 se patentó el método de extracción del aceite de Romero. De la destilación se obtiene una cantidad de antioxidante de 26 % y al ser purificado se obtiene una cantidad final del 10 % (17).

Las investigaciones han demostrado que a una concentración de 0.02 % de Extracto de Romero es efectiva su actividad como antioxidante (17).

El Extracto de Romero se almacena en contenedores llenos y bien cerrados, evitando la exposición al calor (23).

3.4.2 TOXICOLOGIA

La DL50 del Extracto de Romero por vía oral en ratas es de 5000 mg/kg (8).

El Extracto de Romero es ligeramente tóxico por ingestión, irrita la piel con el contacto, cuando se calienta emite humo irritante (8).

3.4.3 APLICACIONES

La adición de Extracto de Romero a carnes mostró una efectiva inhibición de la autoxidación durante el cocido (9).

En carne de pavo o sus productos, el Extracto de Romero mostró actividad antioxidante similar a la del BHA e igual a la del BHT (36,38).

El Extracto de Romero en mantecas inhibió las reacciones de oxidación a una concentración del 0.02 % (17,38).

En trozos de carne de puerco, al adicionarse Extracto de Romero mostró ser un antioxidante efectivo. Al combinarse con el Tripolifosfato de sodio no muestra una significativa actividad como cuando se adiciona solo (38).

A concentraciones menores de 40 ppm de Extracto de Romero se usa como saborizante (28).

En sardinas se lleva a cabo la oxidación de la grasa catalizada por Fe^{2+} o hemoproteínas; el Extracto de Romero al combinarse con el α -Tocoferol mostró ser un antioxidante efectivo a una concentración de 0.02 % que al ser utilizado solo (39).

3.5 LECITINA

3.5.1 CARACTERISTICAS

La Lecitina es un fosfátido formado por un diglicérido que puede contener los ácidos estéarico, palmítico, oleico y la base nitrogenada colina unida al glicerol por medio de un grupo fosfato como lo muestra el Cuadro 23 (28).

CUADRO 23

Composición aproximada de la Lecitina comercial de la soya

Fracción	(%)
Aceite de soya	35
Fosfatidilcolina	16
Fosfatidiletanolamina	14
Fosfatidilinositol	10
Fitoglucolípidos y otros fosfátidos	17
Hidratos de carbono	7
Humedad	1
Total	100

FUENTE: Badui Dergal, Salvador (1990). Química de los Alimentos; Ed. Alhambra Mexicana; pp. 229

La Lecitina se encuentra en el hígado, huevos y los aceites vegetales no refinados, constituyente importante del tejido nervioso y del cerebro, en esperma y plasma sanguíneo (28,52,53).

Comercialmente se obtiene como subproducto de la refinación de soya, en cuyo caso suele contener, además impurezas como fosfátidos con las bases nitrogenadas de inositol y etanolamina, triglicéridos, ácidos grasos e hidratos de carbono en concentraciones que dependen de los procesos de purificación a que se someta la Lecitina cruda (23,28).

La Lecitina recién obtenida es casi blanca, pero se oxida rápidamente y se transforma en amarilla, pero si alcanza un grado de oxidación muy intenso adquiere un color café (8,23,28).

Cuando su índice de acidez es de aproximadamente 20, se presenta como un sólido ceroso; cuando alcanza valores de 30, se transforma en un líquido viscoso (28,37).

La Lecitina es insoluble en agua, se hidrata y forma emulsiones; esto se debe a que su molécula contiene una parte hidrófoba y otra hidrófila. El grupo fosfato y la base nitrogenada interaccionan con la fase acuosa, mientras que las cadenas hidrocarbonadas lo hacen con la lipídica, con lo cual se logra un contacto físico más estrecho entre las dos fases inmiscibles (1,23,28,52).

La Lecitina es soluble en alcohol etanol, cloroformo, éter y aceites minerales, se solubiliza en grasas al calentarlas, es soluble en sulfuro de carbono e insoluble en acetona (23,28,53).

Su índice de Yodo es de 95, el de saponificación 196 y el de hidroxilo es de 100 (28).

La Lecitina de Soya contiene 11.7 % de ácido palmítico, 4 % de ácido esteárico, 8.6 % de palmitoleico, 9.8 % oleico, 55 % linoleico, 4 % linolénico, 5.5 % de ácidos C₂₀ a C₂₂ (incluye araquidónico) (37).

Se ha reportado que las Lecitinas grado comercial contienen sustancias vasodpressoras (37).

La desventaja que tiene la Lecitina es que se oxida presentando las reacciones comunes de autoxidación por lo que se le tiene que adicionar antioxidantes; siendo el más efectivo el BHA (44).

El agente antioxidante de la Lecitina es la "Cefalina", sustancia fenólica. Entre más purificada esté la Lecitina pierde su actividad antioxidante (45,47).

La Lecitina con actividad antioxidante está constituida de 29 % de fosfatidilcolina, 15.1 % fosfatidilinositol, 7 % ácidos fosfatídicos y 7.9 % de componentes no analizados (45).

La Lecitina contiene pequeñas cantidades de péptidos y aminoácidos debido a la incompleta síntesis de proteínas; y estos tienen actividad antioxidante (45,47).

La Lecitina contiene isoflavonas, ácido clorogénico, ácido cafeico y ácido ferrúlico; sustancias fenólicas con actividad antioxidante (48).

3.5.2 APLICACIONES

Además de su uso como antioxidante se utiliza como emulsificante (1,8,23,28).

Se utiliza en productos infantiles y de confitería (1).

Se usa en bebidas en polvo, cocoa en polvo, grasa especial para alimentos a la plancha, filetes de carne y pollo (8).

En oleomargarinas se utiliza a una concentración de 0.5 % (8).

4.0 SINERGISTAS SECUESTRANTES DE METALES

Los agentes sinérgicos son aquellos antioxidantes que al combinarse con otros antioxidantes aumenta la efectividad que la misma cantidad de antioxidante simple (4,18). En este grupo de antioxidantes los más frecuentemente usados son los agentes secuestrantes.

Un quelato se puede definir como el compuesto de coordinación en el que un átomo generalmente un metal, está unido mediante enlaces de coordinación a dos o más átomos de una o más moléculas o iones, llamados quelantes o secuestradores. Tienen la peculiaridad de que el metal que contiene no desarrolla funciones (catalíticas) como lo pudiera hacer si estuviera libre (1,55).

Los quelatos se encuentran comúnmente en la naturaleza y forman parte de la estructura de diversos sistemas bioquímicos de muchos alimentos por ejemplo: el magnesio está en la clorofila, el hierro se une a la molécula de la porfirina en la mioglobina y la hemoglobina; el cobalto es parte de la cobalamina, y varios metales como el zinc, el cobre y el magnesio funcionan como coenzimas de muchos sistemas enzimáticos; todos estos casos son quelatos (1).

La formación del complejo metal-secuestrador se efectúa cuando se satisfacen fundamentalmente dos condiciones:

- a). El ligando o secuestrador debe tener el sitio estérico y la configuración electrónica adecuados para el metal de que se trate.
- b). El medio que lo rodea (pH, fuerza iónica, solubilidad, etc.) deben favorecer la integración del complejo (1).



$$K = \frac{ML}{[M][L]}$$

Dónde:

K = Constante de equilibrio

M = Ion metálico

L = Ligando (agente secuestrador)

ML = Complejo metálico

La K es específica para cada secuestrador con respecto a los diferentes metales; cuanto mayor sea, mayor será la cantidad del complejo que se produzca, y menor la concentración del metal en solución que quede (1,55).

4.1 EDTA (ETILENDIAMINETETRACETATO DE SODIO)

4.1.1 CARACTERISTICAS

El EDTA es un quelante, a nivel industrial se emplean más sus sales de sodio por ser más solubles en agua (28). La estructura química del EDTA se muestra en la Figura 21.

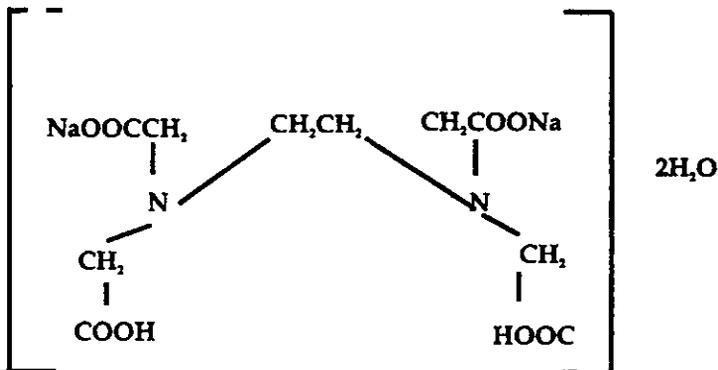


Fig. 21. Estructura Química del EDTA de Sodio

FUENTE: Comitee on Codex Specifications (1981).
Food Chemicals Codex; Ed. National Academy Press; pp. 104

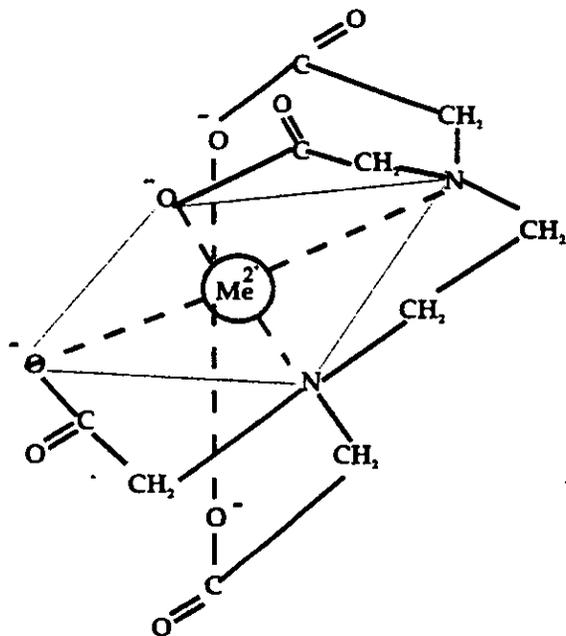


Fig. 22. Quelato del EDTA

FUENTE: Furia E. (1975). Handbook of Food Additives:
Ed. CRC PRESS; pp. 273

4.1.2 TOXICOLOGIA

La DL_{50} por vía oral de EDTA en ratas es de 2000 mg/kg (8).

La DT_{baja} (Dosis tóxica baja) de EDTA por vía oral en ratas es de 31,429 mg/kg (8).

El EDTA es venenoso por vía intravenosa, moderadamente tóxico por ingestión. Cuando se calienta emite vapores tóxicos de NO_x y Na_2O (8).

El abuso del empleo del EDTA en la dieta puede tener problemas de nutrición, ya que puede eliminar iones indispensables para el buen funcionamiento del organismo humano; es decir, pueden reducir la disposición biológica de los metales que contienen los alimentos como son el Fe,

Ca y el Mg, etc. (1,56). El uso de EDTA evita la absorción de calcio por el tracto gastrointestinal en ratas y decalcificación en huesos de polluelos (57,58). La presencia de EDTA en dietas para pavos puede reducir el contenido de zinc, en estos que es esencial (57).

4.1.3 APLICACIONES

El EDTA se usa en chícharos enlatados, en cereales que contienen plátano seco, aderezos franceses, chícharos tiernos, res en canal, habas enlatadas, edulcorantes no nutritivos, papas congeladas, ensalada, salsas, sazonadores, pay de fresa (8).

En el enlatado de vegetales, se pueden llevar a cabo reacciones químicas que reducen la calidad del alimento, que son inducidas por la presencia de algunos metales que pueden provenir del agua empleada, del desprendimiento de la propia lata o del mismo alimento que los libera en el proceso de escaldado (1).

El Cuadro 25 muestra las concentraciones permitidas de EDTA por la FDA.

En sistemas modelo el EDTA con isopropil citrato han mostrado tener actividad antioxidante contra la oxidación del metil-linoleato (59).

El complejo formado por el EDTA y Fe se emplea como agente bloqueador en películas fotográficas, se emplea para la oxidación del ácido benzoico y ácido salicílico a sus respectivos derivados hidroxilados, para la oxidación de fenoles a hidroquinona y pirocatecol (60).

Se usa en aderezos de ensaladas. En pescado como el Bagre el EDTA inhibe la peroxidación de las grasas. A bajas concentraciones es un excelente inhibidor de la peroxidación de grasa. A alta concentración disminuye su efectividad antioxidante; esta peroxidación es provocada por la presencia de hierro y cobre en el músculo del Bagre (62,63).

CUADRO 25

Adición de EDTA permitida en varios alimentos en ppm basado en el peso total del alimento.

Alimento	EDTA (ppm)
Preparación vitamínica acuosa	150
Chicharos enlatados	145
Chicharos tiernos cocidos enlatados	165
Habas enlatadas	165
Pay de fresa	500
Salsas cocidas	36
Revestimiento de latas	75
Aderezo francés	75
Papas blancas congeladas	100
Albóndigas y hamburguesas de pescado	50
Sazonadores	75
Edulcorantes no nutritivos	100

4.2 ACIDO CITRICO (Acido 2- hidroxil-1.2.3-propano-tricarboxílico)

4.2.1 CARACTERISTICAS

Es un antioxidante que se encuentra presente en muchas frutas, se obtiene de desperdicios cítricos o por fermentación de hidratos de carbono con *Aspergillus niger*. Su estructura química se muestra es la Figura 23 (28).

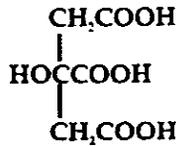


Fig. 23. Estructura química del Acido Cítrico.

FUENTE: Badui Dergal, Salvador (1996). Diccionario de Tecnología de los Alimentos; Ed. Alhambra Mexicana; pp.27

Es un antioxidante que puede obtenerse a partir del zumo de limón del cual primeramente se clarifica con albúmina y se neutraliza con carbonato, formándose el citrato de calcio, que tratado con ácido sulfúrico nos deja el ácido cítrico (53).

El ácido cítrico se sintetiza con la dicloroacetona con ácido cianhídrico para formar la cianhidrina correspondiente, que por hidrólisis produce el hidroxiaácido halogenado, este con cianuro de potasio forma el dinitrilo, que por saponificación produce el ácido cítrico como lo muestra la Fig. 24 (53).

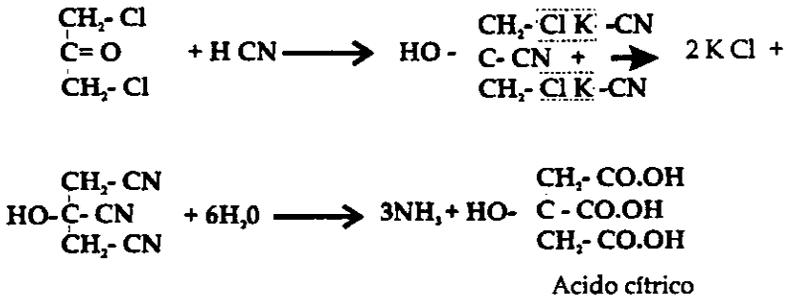


Fig. 24. Síntesis del Acido Cítrico

FUENTE: Murillo, Héctor (1978). Química orgánica; Ed. Eclalsa; pp.245.

El ácido cítrico es eflorescente en aire seco. El ácido cítrico es inodoro, de sabor ácido; se almacena en contenedores bien cerrados e indicando si el antioxidante es anhidro u acuoso (23,28).

El ácido cítrico es un secuestrante de metales; compleja las trazas de hierro presentes en aceites vegetales (3,8,23,28). Las características fisicoquímicas del ácido cítrico se muestra en el Cuadro 26.

CUADRO 26
Características fisicoquímicas del ácido cítrico

Acido cítrico	
Fórmula Molecular	$C_6H_8O_7$
Peso Molecular	192.12
Punto de Fusión de cristales monoclinicos anhidros	153 °C
Punto de Fusión de cristales monohidratados ortorrómbicos	100 °C
Densidad	1.665 g/cm ³
Punto de Inflamación	+ 99.99 °C

El Acido cítrico es sinergista y aumenta la efectividad de antioxidantes fenólicos (3,4).

Se emplean los ésteres del Acido cítrico por tener las mismas cualidades antioxidantes (4).

Para ilustrar el efecto antioxidante sinergista se muestra el Cuadro 27.

CUADRO 27

Acción sinérgica del Acido cítrico (C) y fosfórico (P) en combinación con Galato de laurilo (LG).

Manteca de cerdo con adición de	FA (Factor Antioxidante) por adición de				
	0.01 % C	0.01 % P	0.01 % LG	0.01 % LG +	0.01 % LG +
				0.01 % C	0.01 % P
0.2 ppm Cu	0.3	0.2	0	4.7	4.1
2 ppm Fe	0.6	0.5	0.1	5.7	0.2
2 ppm Ni	0.5	0.6	3.0	7.0	4.4

FUENTE: Belitz, H.D.; Grosch, W. (1988). Química de los Alimentos; Ed. Acribia; pp. 185

El Acido cítrico no promueve la polimerización de las grasas con respecto al ácido fosfórico (7).

El Acido cítrico fue usado en Dinamarca en la refinación de aceite de soya en 1928. El Acido cítrico se descompone por efecto del calor y su gran desventaja es que es insoluble en grasa (29).

Los ésteres del Acido cítrico como el Isopropil citrato y estearil citrato son más solubles en grasas (29).

El Acido cítrico disminuye la descomposición del alimento provocado por bacterias (52).

La concentración permitida por la FDA para el Acido cítrico es de 4,500 ppm del producto final (28).

El Acido cítrico retarda el oscurecimiento de frutas y hortalizas provocado por enzimas como la polifenoloxidasas; actúa secuestrando el cobre que forma parte de la enzima y la disminución del pH que inhibe la enzima (67).

El Acido cítrico sirve como fuente de energía para el cuerpo humano (31).

Un gramo de Acido cítrico es soluble en 0.5 ml de agua, en 2 ml de alcohol y 30 ml de éter (8,23). El Cuadro 28 muestra la solubilidad del Acido cítrico.

CUADRO 28

Solubilidad del ácido cítrico

Solvente	Solubilidad a 20 y 30 °C (%)
	Acido cítrico
Agua	135
Etanol	115
Propilenglicol	Soluble
Grasas	< 0.005

FUENTE: Lundberg, W.O. (1962). Autoxidation and Antioxidants; Ed. Interscience Publishers, Vol I; pp. 517.

Los ácidos di-o Tricarboxílicos como el cítrico fijan o secuestran iones como ya se mencionó anteriormente; la molécula formada se muestra en la Figura 25 (62).

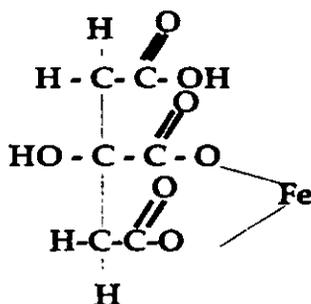


Fig. 25. Complejo formado por el ácido cítrico y el fierro.

FUENTE: Charley, Helen (1982). Tecnología de los Alimentos, procesos químicos y físicos de la preparación de alimentos; Ed. Limusa; pp. 328.

4.2.2 TOXICOLOGIA

La DL_{50} por vía oral en ratas de Acido cítrico es de 6,730 mg/kg (8).

La DL_{50} por vía intraperitoneal en ratas de Acido cítrico es de 883 mg/kg (8).

El Acido cítrico es venenoso por vía intravenosa. Moderadamente tóxico por vía subcutánea, intraperitoneal e ingestión. Irrita severamente la piel y los ojos (8).

El Acido cítrico tiene propiedades alergénicas; y es potencialmente explosivo cuando reacciona con nitratos (8).

4.2.3 APLICACIONES

Una mezcla de BHA, GP y ácido cítrico o de BHA, BHT y Acido cítrico prolongan el período de conservación de la grasa, ofrecen buena protección a la misma durante los distintos procesos a que se somete y ayudan notablemente a estabilizar determinados alimentos ya elaborados (4).

El Acido cítrico es muy usado en la conservación de mariscos (9).

El Acido cítrico se usa en carne de res, chile con carne, grasa de pollo, frutas congeladas, manteca, carne seca, carne de puerco ahumada, carne de puerco fresca, tiras de papa, papa en polvo (instantánea), pollo, salsa seca, salsa fresca, vinos (8).

En vinos comerciales, se usan mezclas de antioxidantes (ac. cítrico-ác. ascórbico-ác.metartánico y piro-sulfato de potasio) mostraron una gran efectividad en la conservación de color (rosa) y en la prevención de oscurecimiento provocado por la polifenoloxidasas (68).

Otra de sus aplicaciones es para acelerar el curado de carnes y como saborizante de bebidas (28).

A concentraciones de 0.5 % de Acido cítrico y 0.02 % de ácido D-eritroascórbico se inhibe el oscurecimiento de frutas frescas durante el congelamiento y descongelamiento (55).

El Acido cítrico resulta ineficaz como antioxidante al usarse solo (61).

En el Cuadro 29 se muestra la concentración permitida en alimentos de el Acido cítrico.

CUADRO 29

Adición de Acido cítrico permitida en alimentos en ppm.

Alimento	Acido cítrico
Carnes curadas o cortes de carne	100,000 en soluciones para esprear superficies
Mezclas de antioxidantes (ác. ascórbico-ác. cítrico-ac. eritórbito)	500
Cortes de carne de puerco fresca	250
Manteca	100 en combinación con otros antioxidantes
Salsas secas	30 en combinación con otros antioxidantes
Grasa de pollo	100 en combinación con otros antioxidantes

4.3 VITAMINA C (ACIDO ASCORBICO)

4.3.1 CARACTERISTICAS

Existen varias sustancias que presentan una actividad biológica de Vitamina C y antioxidante. Como el ácido l-ascórbico y su sal sódica presentan ambas características. El ascorbil palmitato y ascorbil estearato sólo presentan función de antioxidante. Al referirse a la Vitamina C generalmente se trata del ácido ascórbico que por antonomasia se toma como sinónimo (1,8).

El Acido ascórbico se encuentra en productos de origen vegetal, sobre todo en cítricos como la naranja, limón, toronja, fresas, uva, grosella, jitomates, ejotes y hojas de los vegetales (28,54).

El Acido ascórbico es una cetona cíclica que corresponde a la forma enólica de la 3-ceto-1-gulofuranolactona; contiene un enol entre los carbonos 2 y 3 que hace un agente ácido muy reductor; la Figura 26 muestra la estructura química del ácido ascórbico (1).

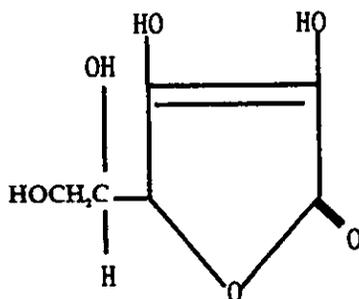


Fig. 26. Estructura química del Acido ascórbico
FUENTE: Comité on Codex Specifications (1981), Food Chemicals Codex;
Ed. National Academy Press; pp. 27

La carencia del Acido ascórbico provoca escorbuto, disminuye la resistencia de los vasos sanguíneos, las encías sangran y hay debilidad y dolor en los huesos, artralgias, hemorragias subcutáneas, incapacidad de los osteoblastos para formar las sustancias intercelulares (28,54). El Cuadro 30 muestra las características fisicoquímicas del Acido ascórbico.

CUADRO 30

Características Fisicoquímicas del Acido ascórbico

Acido ascórbico	
Fórmula Molecular	$C_6H_8O_6$
Peso Molecular	176.14
Punto de Fusión	192 °C
Punto de Inflamación	+ 99 °C

El Acido Ascórbico es un antioxidante estable a pH ácido, es muy sensible al oxígeno ya que se transforma en ácido dehidroascórbico (que no tiene actividad vitamínica), furfural y finalmente melanoidinas, como lo muestra la Fig. 27 (1,28).

El Acido ascórbico está formado por cristales blancos; un gramo de ácido ascórbico es soluble en 3 ml de agua y 30 ml de alcohol. Es insoluble en cloroformo, benceno, éter de petróleo; se fija en grasas y aceites (8,23,28,29).

El Acido ascórbico se almacena en contenedores bien cerrados y que lo protejan de la luz y aire (23).

El Acido ascórbico fue aislado por Szent-György y patentado en 1939 como antioxidante (29).

Las propiedades antioxidantes del Acido ascórbico son mostradas en el Cuadro 31 (29).

CUADRO 31

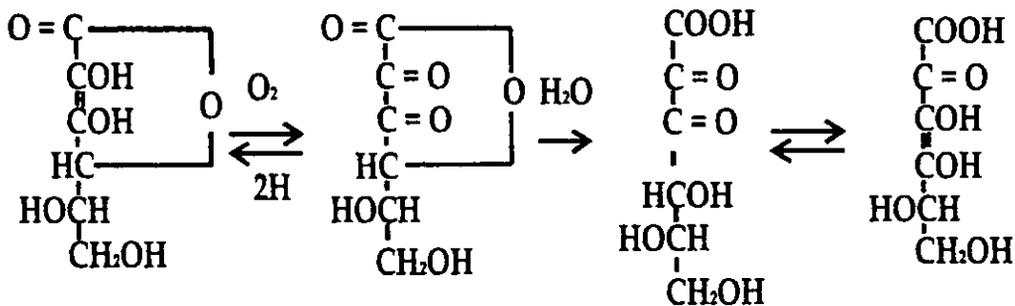
Propiedades antioxidantes del Acido ascórbico

Sustrato	Concentración de Acido ascórbico	Estabilidad (hrs)
Manteca	0.10	24
Manteca	0.20	31
Manteca	0.40	39
Manteca + 0.04 % - β -Tocoferol	0	169
Manteca + 0.04 % - β -Tocoferol	0.10	268
Manteca	0.05	68
Manteca + 0.01 % NDGA	0	206
Manteca + 0.01 % NDGA	0.05	405
Aceite de semilla de algodón hidrogenada	0.01	73
Aceite de semilla de algodón crudo	0.02	223
Manteca	0.12 ^(a)	15
Manteca	0.12 ^(b)	15

(a). Ascorbil palmitato

(b). Isoascorbil palmitato

FUENTE: Lundberg W.O. (1962). Antioxidation and Antioxidant, Vol. I; Ed. Interscience Publishers; pp.509.



Acido Ascórbico

Ac. Dehidroascórbico

Ac. 2,3-Dicetogulónico

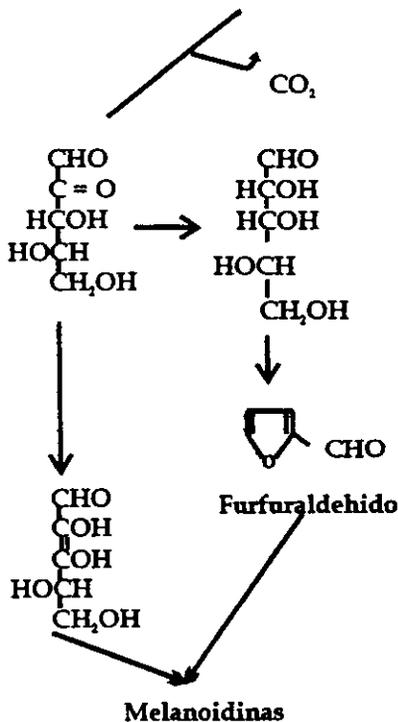


Fig. 27. Degradación del Acido Ascórbico

FUENTE: Badui Dergal Salvador (1990). Química de los Alimentos; Ed. Alhambra Mexicana pp. 359

El Acido ascórbico es muy inestable y lábil por lo que algunos investigadores han propuesto usar su contenido residual en los alimentos como un índice de retención de nutrimentos; se considera que si resiste el procesamiento, el almacenamiento, etc, quiere decir que todos los demás nutrimentos se verán poco afectados (1).

El Acido ascórbico es más estable a pH ácidos y en actividades acuosas bajas; en ausencia de oxígeno resiste temperaturas de esterilización (1).

El Acido ascórbico está constituido de: C 40.92 %, H 4.58 %, O 54.50 % (37).

El Acido ascórbico en sistemas acuosos solo tiene actividad antioxidante a concentraciones elevadas (10^{-3} M). Las concentraciones más bajas (10^{-5} M) especialmente en presencia de iones de materiales pesados como el Cu^{2+} , tienen acción prooxidante (7,17,74,75).

El Acido ascórbico es un antioxidante sinergista y aumenta la efectividad de antioxidantes fenólicos, además, actúa como secuestrante de metales, donador de electrones, atrapador de oxígeno (18). Se ha dispuesto que el Acido ascórbico es capaz de regenerar los antioxidantes fenólicos proporcionando átomos de hidrógeno en la reacción en cadena de la oxidación lipídica. Para conseguir esta acción en los lípidos es necesario que el Acido ascórbico se haga menos polar a fin de que pueda disolverse en las grasas. Esto se logra esterificandolo con ácidos grasos para formar compuestos como el palmitato de ascorbilo (61).

La Vitamina C refuerza el efecto antioxidante de la Vitamina E por regeneración de la forma activa de la vitamina y después reacciona con radicales libres como lo muestra la Fig. 28 (90)

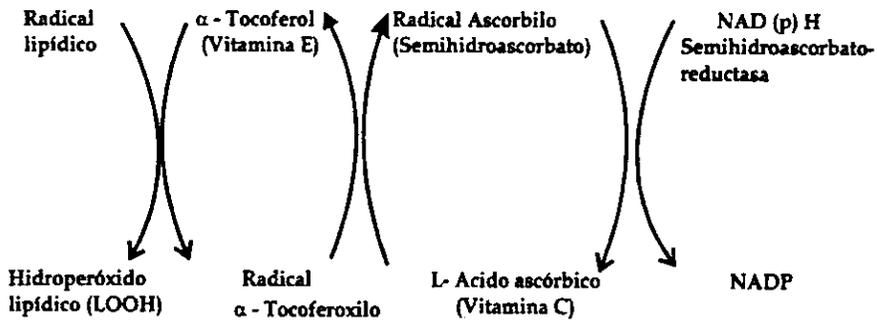


Fig. 28 Sinergismo de Vitamina C y Vitamina E.

FUENTE: Langseth Lillian (1995). Oxidant, Antioxidants, and Disease Prevention; Ed. ILSI; pp.6

4.3.2 METABOLISMO

El Acido ascórbico parece actuar como cofactor en la hidroxilación enzimática de los residuos de prolina del colágeno del tejido conectivo en los vertebrados para formar residuos de 4-hidroxiprolina, constituyente del colágeno (31,32).

El Acido ascórbico desempeña un papel en las oxidaciones celulares sobre todo en la de la tirosina (31).

Parece ser que el Acido ascórbico interviene en la formación y conservación de un componente principal del tejido conectivo de los animales superiores (32).

4.3.3 TOXICOLOGIA

La dosis letal media DL_{50} por vía intravenosa en ratones es de 518 mg/kg (8).

El Acido ascórbico a una concentración de 434 μM se observó que inhibe la biosíntesis de prostaglandinas en bovinos (13).

No hay evidencia de carcinogénesis en ratas y ratones por el uso del Acido ascórbico (8).

Para muchos animales no es indispensable ya que lo sintetiza por ejemplo: los cuyos (*acouchi y agouti*) al disminuir en su dieta el Acido ascórbico no mostró efecto alguno y se determinó que estos eran capaces de biosintetizar el Acido ascórbico (69).

En microorganismos no se halla presente el Acido ascórbico y no lo necesita (32). En la dieta humana se requiere consumir 50 mg diarios (28).

El Acido ascórbico ha demostrado disminuir la tensión (estrés) en ratas, resultando una reducción en lesiones gástricas (72).

Cuando las ratas son sometidas a tensiones ambientales tales como alta temperatura y humedad, estas excretan una cantidad mayor a la normal por la orina que cuando estas están tranquilas (72).

En cuyos de Polonia y China se observó que sintetiza su propio Acido ascórbico en cantidades necesarias (72).

Es combustible; cuando se calienta el Acido ascórbico emite humo irritante (8).

El consumo de Vitamina C (50 mg/día) disminuye la muerte por enfermedades cardiovasculares hasta un 45 % en hombres y en mujeres un 25 %. El consumo de Vitamina C disminuye el riesgo de cataratas en un 45 % y evita la progresión de la enfermedad de Parkinson's. En hombres fumadores ha mostrado mejorar la calidad de la esperma ya que el humo contiene oxidantes que dañan los espermatozoides (90).

4.3.4 APLICACIONES

Se usa en el curado de carnes (res y puerco) y salsas (8).

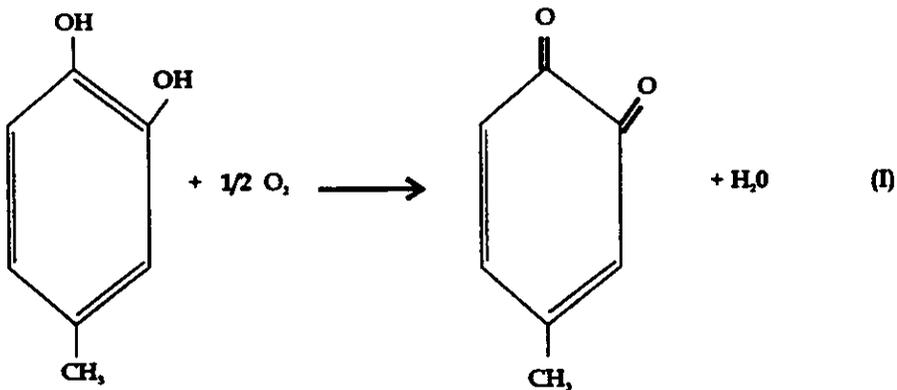
No exceder de 500 ppm de Acido ascórbico en combinación con ácido eritórbico o ascorbato de sodio (8).

La autooxidación en aceites de pescado y soya fue inhibida eficazmente usando 0.02 % de ácido ascórbico. El Acido ascórbico fue disuelto usando fosfatidil-colina como surfactante y agua.

La inhibición fue más efectiva que usando antioxidantes como el BHA y BHT en el aceite de soya. Mas efectivo que el δ -Tocoferol y extracto de romero en aceite de pescado (76).

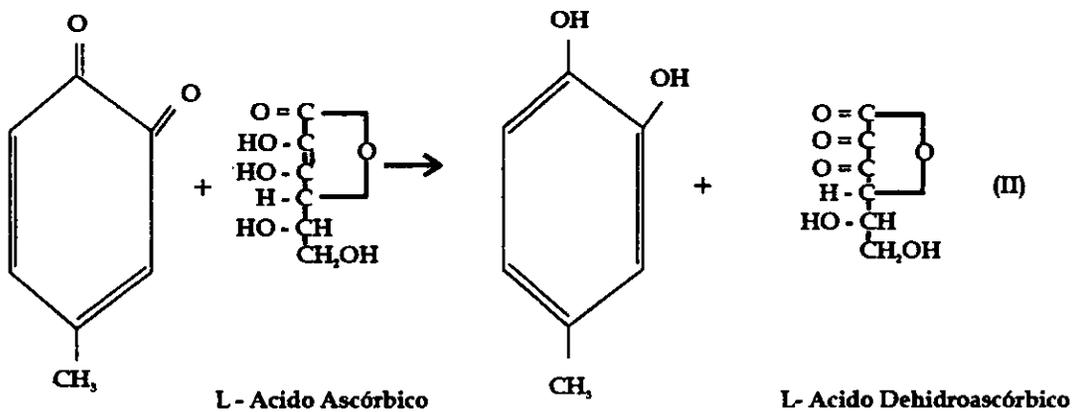
En carne de pescado el Acido ascórbico a 1000 ppm ha mostrado ser un antioxidante efectivo para retardar la autoxidación. Sin embargo a 100 ppm actúa como prooxidante (77).

En el caso de oscurecimiento de frutas causado por el polifenoloxidasas este problema se previene usando Acido ascórbico. El Acido ascórbico actúa como agente reductor de la o-Benzoquinona a o-Difenol como lo muestran las ecuaciones I y II (78).



4 - METILCATECOL

4 - METIL O - BENZOQUINONA



L - Acido Ascórbico

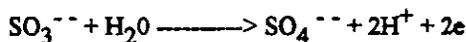
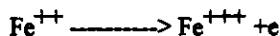
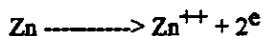
L - Acido Dehidroascórbico

5.0 AGENTES REDUCTORES

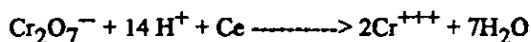
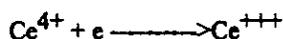
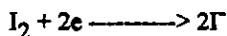
Las reacciones en que se transfieren electrones de un átomo ion o molécula a otro se llaman reacciones de oxidación-reducción o redox. La oxidación es el proceso en que un átomo, ion o molécula pierde uno o más electrones; la reducción implica ganancia de uno o más electrones, por parte de un átomo, ion o molécula. "Un agente reductor es una sustancia que pierde uno o más electrones y en este proceso se oxida; un agente oxidante gana uno o más electrones y con ello se reduce". Dicho de otra forma, un reductor es un donador de electrones y un oxidante es un receptor de electrones (80).

La oxidación y la reducción no pueden tener lugar de forma independientes sino simultánea por la transferencia de electrones desde el donador al receptor. No obstante es conveniente considerar los procesos de oxidación y reducción por separado. Expresándolos mediante semireacciones representada cada una de ellas por la ecuación de la semireacción ion-electrón. Ver los siguientes ejemplos (80).

1. Semireacciones de oxidación



2. Semireacciones de reducción



5.1 PIROSULFITO DE POTASIO ($K_2S_2O_5$)

5.1.1 CARACTERISTICAS

El Piro sulfito de potasio son cristales o polvo blanco-incoloros, con olor a dióxido de sulfuro (8,23,28). El Cuadro 32 muestra las características fisicoquímicas de piro sulfito de potasio.

CUADRO 32

Características Fisicoquímicas del Piro sulfito de potasio

PIROSULFITO DE POTASIO

Fórmula Molecular	$K_2S_2O_5$
Peso Molecular	222.31
Densidad	2.3 g/cm ³
K	35.17 %
O	35.98 %
S	28.85 %

El Piro sulfito de potasio es un antioxidante que en presencia del aire se oxida lentamente a sulfatos y pierde sus propiedades, es soluble en agua; insoluble en alcohol (8,23,28,37).

Un producto comercial de $K_2S_2O_5$ contiene un 95 % del producto final (37).

El piro sulfito de potasio se almacena en contenedores bien cerrados y en lugares frescos y secos (28,37).

5.1.2 TOXICOLOGIA

La dosis tóxica baja (DT_{baja}) del Piro sulfito de potasio por vía oral en ratas es de 3500 mg/kg. La dosis tóxica baja del Piro sulfito de potasio por vía oral en ratones es de 14400 mg/kg (8).

Es un material muy irritante. Cuando se calienta emite vapores tóxicos de SO y K_2O (8).

5.1.3 APLICACIONES

Además de su acción antioxidante actúa como conservador y esterilizador (8).

Evita el oscurecimiento en frutas y vegetales frescos a una concentración de 0.2 % (28, 67).

Se utiliza como antifermetador en vinos y bebidas (37,68).

5.2 SULFITO DE POTASIO (K_2SO_3)

5.2.1 CARACTERISTICAS

El Sulfito de Potasio es un antioxidante que se oxida en contacto con el aire a sulfato y se descompone en ácidos diluidos. Sus características fisicoquímicas en el Cuadro 33 (8,28,37).

CUADRO 33

Características fisicoquímicas del Sulfito de Potasio

SULFITO DE POTASIO

Fórmula Molecular	K_2SO_3
Peso Molecular	158.25
Pureza (prod. comercial)	90-95 %
K	49.41 %
O	30.33 %
S	20.26 %

El Sulfito de Potasio es muy soluble en agua (1g/3.5 ml) y muy poco en alcohol (8,28,37).

La concentración permitida para este antioxidante es de 200 ppm a una concentración mayor puede provocar olores desagradables (28).

Se debe almacenar en contenedores bien cerrados y en lugares frescos (23,37).

5.2.2 METABOLISMO

Debido a que en presencia de oxígeno el sulfito de potasio se oxida a sulfatos, estos se eliminan en la orina (28).

5.2.3 TOXICOLOGIA

No es tóxico para el hombre aunque existen algunas personas que presentan alergias a este compuesto. Cuando se calienta el sulfito de potasio emite vapores tóxicos de SO_x y K_2O (8).

5.2.4 APLICACIONES

Su uso principal es inhibir las reacciones de oscurecimiento en frutas y hortalizas (28,67).

5.3 CARBONATO DE SODIO (Na₂CO₃)

5.3.1 CARACTERISTICAS

El Carbonato de sodio son cristales incoloros o polvo cristalino blanco, anhidro, mono o decahidratado. La forma anhidra es higroscópica y la forma hidratada es eflorescente. Sus características fisicoquímicas se muestran a continuación en el Cuadro 34 (8, 23, 28).

CUADRO 34

Características fisicoquímicas del Carbonato de sodio

CARBONATO DE SODIO

Formula Molecular	Na ₂ CO ₃
Peso Molecular	105.99
Punto de Fusión	851 °C
Densidad a °C	2.509 g/cm ³
Pureza (prod. comercial)	99 %
C	11.33 %
Na	43.38 %
O	45.29 %

El Carbonato de sodio es un antioxidante soluble en agua (8,28,37).

El antioxidante Carbonato de sodio se almacena en lugares frescos y en contenedores cerrados (23).

5.3.2 TOXICOLOGIA

La DL_{50} por vía oral en ratas de Carbonato de sodio es de 4090 mg/kg (8).

La LC_{50} (Concentración letal media) por inhalación en ratas de Carbonato de sodio es de 2300 mg/m³/2 hrs (8).

Es venenoso por vía intraperitoneal; moderadamente tóxico por inhalación ya que irrita la mucosa provocando tos y falta de aire. El contacto con la piel la torna color rosa y con soluciones concentradas provoca ericemas, dermatitis y ulceración. Cuando se calienta emite vapores tóxicos de Na₂O (8,37).

5.3.3 APLICACIONES

Se usa en geles para postres, grasas de origen animal, carne de puerco, margarina, oleomargarina, pollo, pudelado, salsas, sopas (instantáneas) (8).

La FDA y GRAS permiten la concentración necesaria para el propósito que se persigue (8).

Además, se usa en la manufactura de sales de Na, vidrio, jabones; para limpiar algodón y textiles (37).

5.4 HIPOFOSFITO DE SODIO (NaH₂PO₂)

5.4.1 CARACTERISTICAS

El Hipofosfito de sodio es un antioxidante polvo cristalino o gránulos incoloro-blancos muy delicuescentes. El Cuadro 35 muestra las características fisicoquímicas del Hipofosfito de sodio (8,23,28).

CUADRO 35

Características fisicoquímicas del Hipofosfito de sodio

HIPOFOSFITO DE SODIO

Fórmula Molecular	NaH_2PO_2
Peso Molecular	87.98
H	2.29 %
Na	26.13 %
O	36.37 %
P	35.21 %

El Hipofosfito de sodio es soluble 1 g en 1 ml de agua a una temperatura de 25 °C, 6 g en 1 ml de agua a una temperatura de 100 °C. Es poco soluble en alcohol (23,37).

El Hipofosfito de sodio produce explosiones al mezclarse con nitratos, cloratos u otros agentes oxidantes (28,23,37).

5.4.2 TOXICOLOGIA

La DL_{50} por vía intraperitoneal en ratones de Hipofosfito de sodio es de 1,584 mg/kg (8).

Es venenoso por vía subcutánea. Moderadamente tóxico por vía intraperitoneal. El calor prolongado hace que se produzca fosfina y ésta es explosiva. Cuando se calienta emite vapores de PO_x y Na_2O (8).

5.4.3 APLICACIONES

Además de su acción antioxidante el Hipofosfito de sodio actúa como conservador (8,23).

El Hipofosfito de sodio se usa en frutas deshidratadas para evitar el oscurecimiento enzimático. Este se debe añadir antes de que se inicie la reacción, ya que de otra manera no surte efecto. Se considera que este compuesto actúa con los grupos aldehído, las osulosas y desoxiosulosas. Además su carácter reductor inhibe los pasos finales de la polimerización (1).

El Hipofosfito de sodio se emplea para el control microbiano y su efecto solo es notorio cuando existe una cantidad libre que verdaderamente actúe sobre los microorganismos. Si el alimento contiene azúcares reductores, parte de la concentración de este agente se perderá porque reacciona con los carbohidratos y se reducirá la proporción que funciona como conservador (1).

Se usa en emulsiones de aceite de hígado de bacalao (8).

5.5 **METABISULFITO DE SODIO ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$)**

5.5.1 **CARACTERISTICAS**

Son cristales incoloros o polvo blanco amarillento, con un ligero olor a dióxido de sulfuro (SO_2). En presencia de aire se oxida lentamente a sulfatos y pierde sus propiedades. Su estructura química se muestra en la Figura 29 (8,27,28).



Fig. 29 Estructura química del Metabisulfito de sodio

FUENTE: Badui Dergal, Salvador (1996). *Diccionario de Tecnología de los Alimentos*; Ed. Alhambra Mexicana; pp. 173

El Metabisulfito de sodio es un antioxidante soluble en agua e insoluble en etanol. Sus características fisicoquímicas se muestran en el Cuadro 36 (8,23,28).

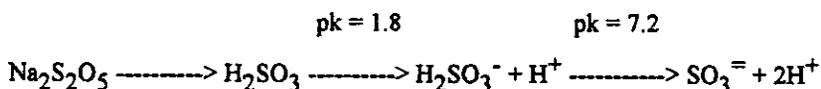
CUADRO 36

Características fisicoquímicas del Metabisulfito de sodio

METABISULFITO DE SODIO

Fórmula Molecular	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$
Peso Molecular	190.10
Na	24.19 %
O	42.08 %
S	33.73 %

El Metabisulfito de sodio en solución acuosa ácida libera ácido sulfuroso (H_2SO_3) y los iones sulfito (SO_3^{-2}) y bisulfito (HSO_3^{-}) en diferentes proporciones de acuerdo con el pH como lo muestra la siguiente reacción (1).



La proporción de cada especie química que se produce está en función del pH, ya que por ejemplo a 4.5 se tiene alta cantidad de bisulfito y a medida que se reduce el pH se favorece la forma no disociada del ácido sulfuroso (1).

El Metabisulfito es un agente reductor y actúa como antioxidante al reaccionar con el peróxido de hidrógeno y con los fenoles y aldeídos oxidados, transformándolos en compuestos menos activos (1).

El Metabisulfito de sodio es un agente antimicrobiano contra levaduras indeseables y ciertas bacterias (1).

5.2.2 METABOLISMO

El Metabisulfito de sodio se absorbe por el hígado y se metaboliza mediante la enzima sulfito oxidasa y se elimina en la orina como sulfato sin ningún efecto dañino (1,93).

5.3.3 TOXICOLOGIA

La DL_{50} por vía intravenosa en ratas de Metabisulfito de sodio es de 115 mg/kg (8).

El Metabisulfito de sodio se almacena en contenedores bien llenos y cerrados. No se debe exponer al calor excesivo (23).

El Metabisulfito de sodio es venenoso por vía intravenosa, moderadamente tóxico por vía parenteral. Cuando se calienta emite vapores tóxicos de SO_x y Na_2O (8).

El Metabisulfito de sodio ha mostrado que hay individuos, sobre todo aquellos que padecen asma, que son sensibles a los sulfitos y sufren bronco espasmos, aún las personas sanas, cuando los consumen en exceso, pueden padecer constricciones bronquiales (1).

5.5.4 APLICACIONES

El Metabisulfito de sodio inhibe las reacciones de oscurecimiento no enzimático de Maillard ya que bloquean los grupos carbonilo libres de los azúcares y evitan que éstas interaccionen con los aminoácidos (1).

Las concentraciones permitidas para el Metabisulfito de sodio son de 500 ppm. En carnes y frutas que van a ser empleadas como fuente de vitaminas está restringido su uso ya que el Metabisulfito de sodio destruye a la tiamina (Vitamina B1) (1,8).

El Metabisulfito de sodio se usa en frutas secas, frutas frescas, bebidas de limón, cerezas marrasquino, carnes, camarones y vegetales frescos (8).

El Metabisulfito de sodio evita las reacciones de oscurecimiento enzimático pues su poder reductor inhibe la síntesis de quinonas; además de que pueden tener una acción inhibitoria sobre la propia enzima (1).

En la industria vitivinícola, el Metabisulfito de sodio tiene una gran demanda. Actúa como blanqueador y elimina los colores café indeseables en los mismos (1).

5.6 SULFITO DE SODIO (Na_2SO_3)

5.6.1 CARACTERISTICAS

El Sulfito de sodio es un antioxidante polvo blanco o casi rosa, inodoro, se oxida al contacto con el aire. La forma heptahidratada ($\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) es un sólido blanco transparente. Sus características fisicoquímicas son mostradas en el Cuadro 37 (8,23,28).

CUADRO 37

Características fisicoquímicas del Sulfito de sodio

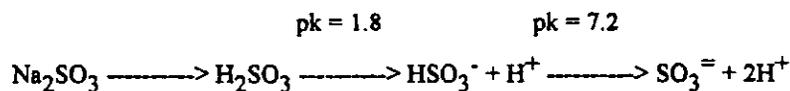
SULFITO DE SODIO	
Fórmula Molecular	Na_2SO_3
Peso Molecular	126.04
Densidad a 15.4 °C	2.633 g/cm ³
Pureza (prod. comercial)	90 %
Na	36.48 %
O	38.08 %
S	25.44 %

El Sulfito de sodio es de sabor salino; es soluble en agua (1g/4 ml) y glicerol e insoluble en etanol. El Sulfito de sodio es eflorescente e inestable en contacto con el aire (23,28,37).

El Sulfito de sodio tiene un pH = 9 y se usa a una concentración no mayor de 200 ppm en alimentos ya que puede producir olores desagradables (28,37).

El Sulfito de sodio se debe almacenar en contenedores bien cerrados y apretados (23,37).

El Sulfito de sodio en solución acuosa ácida libera ácido sulfuroso (H_2SO_3) y iones sulfito (SO_3^{-2}) y bisulfito (HSO_3^{-}) en diferentes proporciones de acuerdo con el pH, como lo muestra la siguiente reacción (1).



La proporción como se mencionó anteriormente, de cada especie química que se produce está en función del pH. A $\text{ph} = 4.5$ se produce una alta cantidad de bisulfito y a medida que se reduce el pH se favorece la forma no disociada del ácido sulfuroso (1).

5.6.2 METABOLISMO

El Sulfito de sodio se absorbe por el hígado y se metaboliza mediante la enzima sulfito oxidasa y se elimina en la orina como sulfato sin ningún efecto dañino (1,28, 93).

5.6.3 TOXICOLOGIA

La DL_{50} por vía intravenosa de Sulfito de sodio en ratas es de 115 mg/kg (8).

La DL_{50} por vía intravenosa de Sulfito de sodio en ratones es de 175 mg/kg (37).

Las personas que sufren asma son sensibles al Sulfito de sodio y sufren bronco espasmos, en personas sanas cuando consumen un exceso de sulfito de sodio pueden padecer constricciones bronquiales (1).

El Sulfito de sodio se ha relacionado con el desarrollo de cáncer en ratas. Es venenoso por vía intravenosa y subcutánea, moderadamente tóxico por ingestión y vía intraperitoneal. Cuando se calienta emite vapores muy tóxicos de Na_2O y SO_x , es un agente reductor (1,8).

5.6.4 APLICACIONES

El Sulfito de sodio se usa en bases para goma de mascar, frutas frescas, vegetales frescos y carnes. Su aplicación está restringida a frutas, verduras y carnes que son utilizadas como fuente de vitaminas ya que el sulfito disminuye la tiamina (Vitamina B_1) e interacciona con las antocianinas y las llegan a transformar en productos incoloros (1,8).

Además de antioxidante es un buen conservador y se usa en carnes y yemas de huevo (37).

El Sulfito de sodio inhibe las reacciones de oscurecimiento no enzimático de Maillard ya que bloquea los grupos carbonilo libres de los azúcares y evitan que éstos interaccionen con los aminoácidos; además, ejercen una acción decolorante sobre los pigmentos melanoidinas, productos finales de estas reacciones (1).

El Sulfito de sodio inhibe las reacciones de oscurecimiento enzimático; pues su poder reductor inhibe la síntesis de quinonas, además de que puede tener una acción inhibidora sobre la enzima (1,28).

En la industria vitivinícola el sulfito de sodio blanquea y elimina colores café indeseables. Actúa como antioxidante al reaccionar con el peróxido de hidrógeno, con fenoles y aldehidos oxidados transformándolos en compuestos menos activos (1).

5.7 TIOSULFATO DE SODIO ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)

5.7.1 CARACTERISTICAS

El Tiosulfato de sodio se presenta en cristales grandes incoloros o polvo cristalino delicuesente en presencia de aire húmedo y eflorescente en contacto con aire seco a más de 33 °C. La estructura química del Tiosulfato de sodio se muestra en la Figura 30 (28,37).

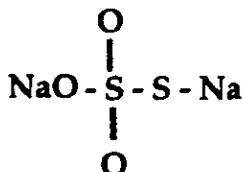


Fig. 30. Estructura química del Tiosulfato de sodio.

FUENTE: Badui Dergal, Salvador (1996). Diccionario de Tecnología de los Alimentos; pp. 234.

El Tiosulfato de sodio es un agente reductor soluble en agua (1g/0.5 ml), insoluble en etanol; sus características fisicoquímicas se muestran en el Cuadro 38 (8,23,37).

CUADRO 38

Características fisicoquímicas del Tiosulfato de sodio

TIOSULFATO DE SODIO

Fórmula Molecular	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$
Peso Molecular	158.10
Densidad	1.69 g/cm ³
Na	29.08 %
O	30.36 %
S	40.56 %

5.7.2 TOXICOLOGIA

La DL_{baja} (Dosis letal baja) de Tiosulfato de sodio por vía subcutánea en conejos es de 4000 mg/kg (8).

5.7.3 APLICACIONES

El Tiosulfato de sodio se usa a una concentración de 0.00005 % en bebidas alcohólicas y 0.1 % como sal de mesa (8).

5.8 CLORURO DE ESTAÑO (Cl_2Sn)

5.8.1 CARACTERISTICAS

El Cloruro de estaño es un antioxidante anhidro o dihidratado ($Cl_2Sn \cdot 2H_2O$), son cristales blanco-incoloros, es un agente reductor. Las características fisicoquímicas se muestran en el Cuadro 39 (8,23,28).

CUADRO 39
Características fisicoquímicas del Cloruro de estaño

CLORURO DE ESTAÑO	
Fórmula Molecular	Cl_2Sn
Peso Molecular	189.59
Punto de Fusión	37 °C
Densidad	2.71 g/cm ³
Cl	37.39 %
Sn	62.61 %

El Cloruro de estaño es soluble en agua, etanol, en HCl concentrado o diluido, acetato de etilo, ácido acético glacial, soluciones de hidróxido de sodio; es insoluble en xileno (8,23,37).

El Cloruro de estaño debe almacenarse en contenedores bien cerrados y en lugares frescos (23).

5.8.2 TOXICOLOGIA

La DL₅₀ por vía oral en ratas de Cloruro de estaño es de 700 mg/kg (8).

La DL₅₀ por vía intraperitoneal en ratones de Cloruro de estaño es de 66 mg/kg (37).

El Cloruro de estaño es venenoso por vía intraperitoneal, intravenosa y subcutánea y por ingestión. Es explosivo cuando reacciona con nitratos metálicos. reacciona con el peróxido de hidrogeno, óxido de etileno, hidrazinas, hidratos, nitratos, K y Na. Cuando se calienta emite vapores tóxicos de Cl⁻ (8).

5.8.3 APLICACIONES

El Cloruro de estaño se usa en espárragos y bebidas carbonatadas a una concentración de 20 ppm (8).

6.0 OTROS

Además de los antioxidantes antes expuestos o estudiados existen otros tipos de antioxidantes que en los próximos años podrían tener aplicación en alimentos. A continuación se describen brevemente.

6.1 MRP

6.1.1 CARACTERISTICAS

Los productos de la reacción de Maillard como las reductonas son activas como antioxidantes (7).

Las reductonas se forman a partir de la deshidratación de hidratos de carbono durante las reacciones de oscurecimiento no enzimático; como lo muestra la Figura 31 (28,81).

Es necesario mencionar que las pentosas son más susceptibles al oscurecimiento no enzimático que las hexosas. Los productos de la reacción de Maillard de la xilosa tienen mayor actividad antioxidante que la glucosa (82).

Otros productos que contribuyen a la actividad antioxidante son las melanoidinas, éstas actúan como secuestrantes de metales en especial el Fe y el Cu como lo muestra la Figura 32 (81,82).

Las Melanoidinas son polímeros que se forman de la interacción entre grupos carbonilo y aminas; han mostrado ser más efectivas como antioxidantes que el BHA y GP en la protección del ácido linoleico de la oxidación. Estas poseen efecto sinergista con BHA, BHT y tocoferoles (81,82).

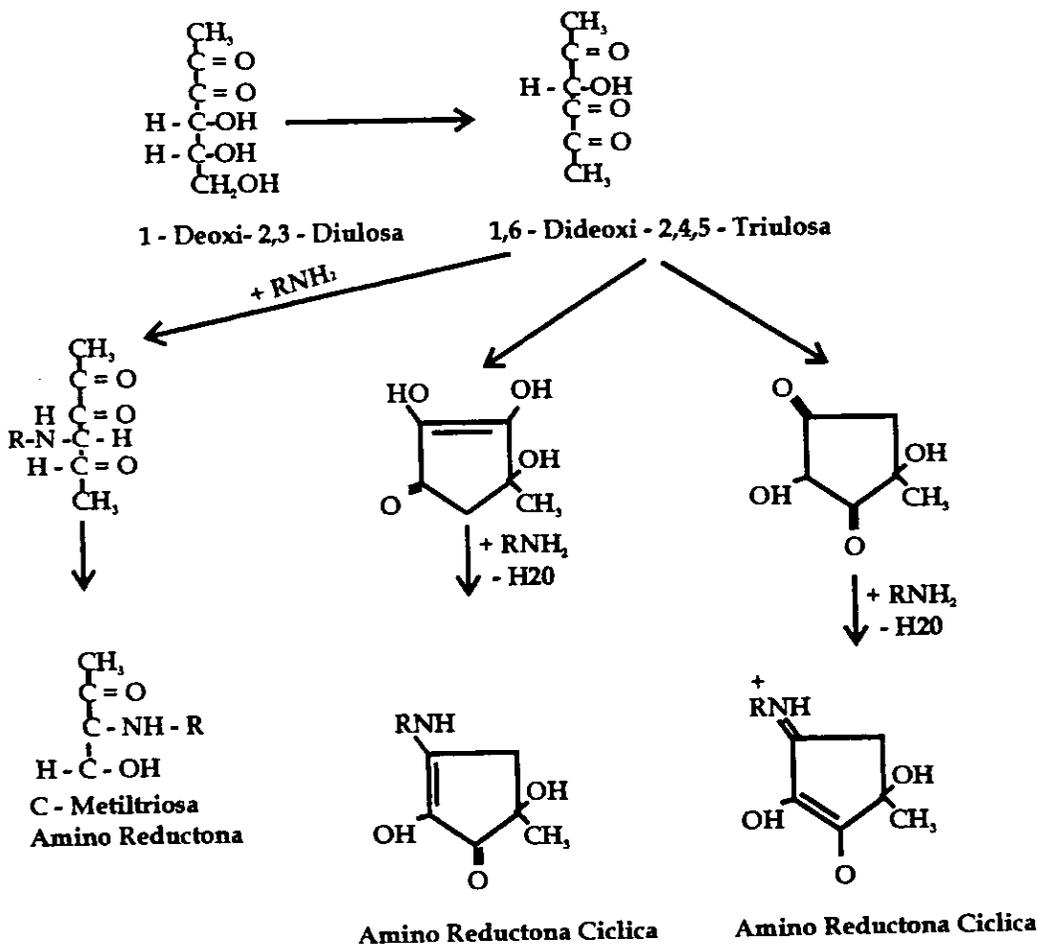


Fig. 31. Deaminación - Deshidratación de D - Fructosamina a reductonas.

FUENTE: J.R. Vercenotti; Allen J., St. Angelo; M. Spanier Arthur (1992). *Lipid Oxidation in Foods an Overview*. Ed. American Chemical Society; pp. 127

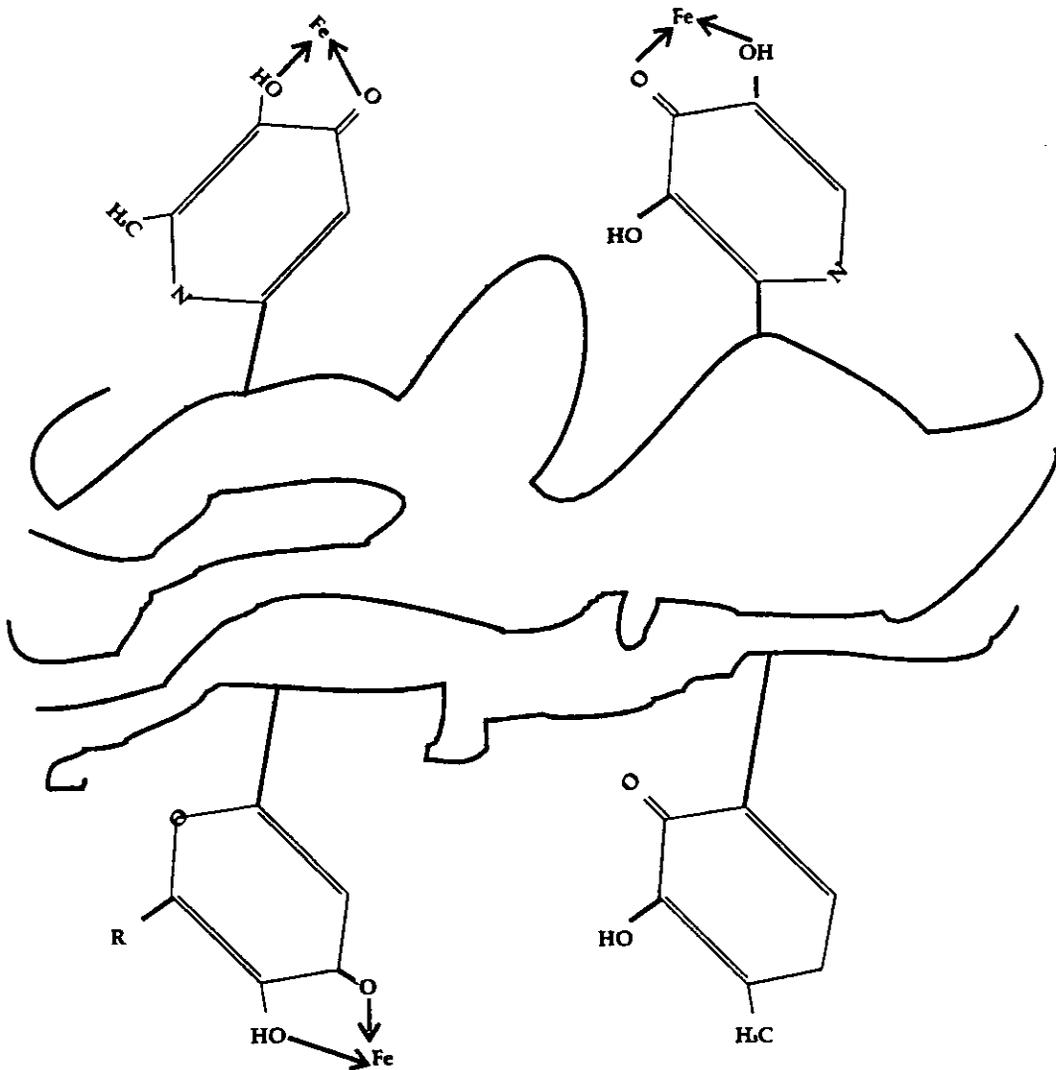


Fig. 32. Estructuras de Melanoidinas (hidroxipiridona y piranona) que actúan como Antioxidantes secuestrando hierro.

FUENTE: J.R., Vencenotti; Allen J., St. Angelo; M. Spanier, Arthur (1992) *Lipid Oxidation in Foods an Overview*; Ed. American Chemical Society; pp. 130.

Los productos de la reacción de Maillard como las reductonas actúan como agentes reductores (81,82).

A una concentración de 0.02 % los MRP han mostrado ser efectivos en inhibir las reacciones de oxidación (81).

6.1.2 APLICACIONES

A una concentración de 0.02 % los MRP han mostrado ser efectivos en la inhibición de la oxidación en aceite de soya y aceite de algodón, siendo incluso más efectivo que al ser tratado con Galato de propilo (81).

En leche en polvo se ha demostrado que al pasteurizar la leche antes del secado a una temperatura de 88-93 °C por 20 seg se inhiben las reacciones de oxidación. Esta inhibición se debe a los productos de la reacción de Maillard ocurrida durante el tratamiento de la leche (82).

Los productos de la reacción de Maillard de la glucosa mostraron ser un antioxidante efectivo en la inhibición de la oxidación en embutidos durante el almacenamiento en congelación (82).

En un estudio realizado en carnes de res se adicionaron 500 mg/kg de productos de la reacción de Maillard obtenidos al calentar xilosa y arginina. Se determinó que la adición de MRP puede ayudar a mantener el sabor característico de la carne por largos periodos de almacenaje (83).

Una mezcla de aminoácidos y glucosa calentados por 3 horas a 125-150 °C protege a las carnes asadas de perder el sabor deseado conservándolo por una semana a 4 °C (81).

La utilización de MRP como antioxidante algunas veces puede causar problemas debido a su color. La decoloración de los MRP por ozonólisis disminuye su actividad como antioxidantes. Además de que el método está prohibido para su uso en alimentos (82).

Los MRP de Xilosa mostraron efecto sinérgico en sistemas modelo con β , γ y δ -Tocoferol; pero no con α -Tocoferol. En margarinas para inhibir la autooxidación fue más efectivo al combinar los MRP (0.0025 %) con ácido cítrico (0.005 %) y tocoferoles (0.01 %) (82).

6.2 LIGNINA

6.2.1 CARACTERISTICAS

La lignina es un polímero tridimensional de alto peso molecular que se encuentra en la madera que junto con la celulosa y otros polisacáridos, es la responsable de la rigidez de la pared celular de algunos vegetales; es insoluble en agua y está constituida por la unión de compuestos fenólicos, por ejemplo: vainillina, aldehído siringico y los alcoholes coniferílico, sinapílico y cumarílico por medio de una cadena alifática de tres átomos de carbono. Forma parte de la fibra cruda de los alimentos (28).

6.2.2 METABOLISMO

La lignina como fibra interviene en el metabolismo de las vitaminas A y E (84).

6.2.3 APLICACIONES

La inclusión de lignina en la dieta de ratas a niveles de 1-10 % resultó en una deposición del retinol hepático de un 50 a 100 % comparado con la celulosa.

Por lo que se concluyó que la vitamina A (retinol) se protege de la oxidación por la presencia de lignina durante la digestión (84).

Durante la producción de humo los polifenoles existentes en la madera tales como la lignina, por un proceso de "craking" dan lugar a la formación de fenoles volátiles, que actúan como antioxidantes en los productos ahumados (7).

6.3 JENGIBRE

6.3.1 CARACTERISTICAS

El Jengibre es una planta de la familia de las cingiberáceas (*Zingiber officinale Roscoe*); de cuyos rizomas se obtiene por destilación con arrastre de vapor, hasta 1.2 % de un aceite esencial llamado gingerol; sus características fisicoquímicas se muestran en el Cuadro 40 (8,23,28).

CUADRO 40

Características fisicoquímicas del Jengibre

JENGIBRE	
Densidad a 25 °C	0.870 a 0.882 g/cm ³
Índice de refracción a 20 °C	1.488 a 1.494
Solubilidad	Soluble en aceites fijos aceite mineral y alcohol
Insolubilidad	Insoluble en glicerina y propilenglicol.

El Jengibre es un antioxidante líquido amarillo, se oscurece y espesa al ponerlo en contacto con el aire por lo que se recomienda que se almacene en contenedores llenos y bien cerrados de aluminio o vidrio y en lugares frescos protegidos de la luz (23,28).

El Jengibre es un antioxidante que contiene cingerona (cetona responsable del sabor picante), farneseno, borneol, cineol, geraniol, linalol, cingiberona y cingeron, de sabor picante aromático (28).

El Jengibre es una especia muy usada en la cocina oriental. Investigadores japoneses reportaron la actividad antioxidante de este extracto adicionado en aceites y mantecas en 1976 (85).

6.3.2 TOXICOLOGIA

En la piel del conejo aplicando 500 mg/24 hr de Jengibre es moderadamente tóxico ya que produce ericemas y edemas en un área de 1 mm² (88).

Cuando el Jengibre se calienta emite vapores color acre irritante (8).

6.3.3 APLICACIONES

Su principal uso es como agente saborizante en bebidas, carnes, postres, salsas en cantidades razonables (8).

Como antioxidante ha mostrado inhibir las reacciones de oxidación en aceites y mantecas de origen animal (85).

En un estudio en hamburguesas de puerco a una concentración de 0.02 y 0.03 ml de Jengibre, a un pH = 7 se inhibieron las reacciones de oxidación. Se concluyó que el responsable de este efecto fue el extracto de Jengibre y que potencialmente puede ser utilizado en otros productos cárnicos (85).

6.4 EXTRACTO DE MOSTAZA

6.4.1 CARACTERISTICAS

La Mostaza es una planta anual de la familia de las crucíferas de las que existen las variedades blanca (*Brassica alba* o *Sinapsis alba*) y la negra (*B. nigra*); se distinguen en que la primera tiene vainillas del fruto más anchas, terminadas en una punta bastante larga y con semillas de color blanco amarillento y de casi 2 mm de diámetro, mientras que la segunda presenta semillas de 1 mm, negras por fuera y amarillas por dentro (28).

De la variedad blanca se extrae un aceite esencial que contiene compuestos fenólicos que lo proveen de actividad antioxidante. El ácido p-hidroxibenzoico es el mayor compuesto fenólico presente en la Mostaza. El ácido sinápico representa el 36 % del total de los compuestos fenólicos presentes en la Mostaza (86).

De la variedad negra se extrae un aceite esencial que contiene varios isotiocianatos como por ejemplo: de alilo (proveniente de la sinigrina), de fenilo, de butilo, de isopropilo, de metilo, y de p-hidroxibencilo (proveniente de la sinalbina) (28).

El extracto de mostaza es soluble en etanol (28).

6.4.2 APLICACIONES

Debido al sabor picante (pungente) se usa como saborizante (28).

El extracto de Mostaza ha mostrado retardar el sabor a quemado desarrollando en carnes durante el cocido (86).

En sistemas modelo con β -caroteno-linoleato, el extracto de Mostaza ha mostrado una gran actividad antioxidante con respecto al BHA. Por lo que en el estudio concluyeron que el extracto tiene un gran potencial como antioxidante y protege a los alimentos del desarrollo de rancidez oxidativa (86).

7.0 TENDENCIAS DE CONSUMO

Como se ha podido observar durante los capítulos anteriores, los antioxidantes abarcan una amplia variedad de compuestos y su empleo se encuentra en función de diversos factores, tales como:

1. *Efectividad a bajas concentraciones*: generalmente los niveles de concentración permitidos por las legislaciones son de 0.02 % como máximo para obtener una buena estabilidad de grasas y aceites. A concentraciones elevadas actúan como prooxidantes como es el caso del α -tocoferol y la lecitina.
2. *Solubilidad*: Para que los antioxidantes cumplan con su función deben solubilizarse en la fase lipídica a emplear ya que de otra manera no podrían actuar sobre los radicales libres. Como por ejemplo el Galato de propilo es hidrófilo y en menor grado el TBHQ son adecuados para los sistemas con muy poca agua, como son las grasas y aceites puros. Por otra parte, los aderezos y los productos cárnicos con un alto porcentaje de agua requieren de antioxidantes lipofilos, como el BHA, BHT y Tocoferoles.
3. *Estable en condiciones de temperatura*: Cada antioxidante tiene una temperatura a la que se volatiliza, lo cual es preciso tomar en cuenta cuando se emplean en aceites para freír, pues esta operación se lleva a cabo entre 180 y 220 °C y la actividad antioxidante de estos compuestos disminuye provocando que el lipido se vuelva susceptible a la oxidación.
4. *pH*: En general, los antioxidantes fenólicos tienen más carácter ácido que básico, por lo que son más compatibles en productos con pH menor de 7; algunos de estos como el Galato de propilo, se inactiva si se emplea bajo condiciones alcalinas como ocurre en las mantecas usadas en la panificación; sin embargo, en estas condiciones las mezclas de BHA y BHT son más estables.

5. *No ser tóxico*: Es una condición primordial de cualquier aditivo, ya que es importante que el consumo de cualquier antioxidante no provoque al consumidor riesgo alguno; esto explica que numerosos trabajos hayan sido consagrados a la investigación de los efectos metabólicos, fisiológicos y nutricionales de los antioxidantes.

6. *No impartir colores, olores o sabores indeseables en el alimento*: En determinadas circunstancias llegan a formar compuestos coloridos indeseables en los alimentos. El Galato de Propilo en concentraciones bajas de hierro produce un complejo azul-negro en una reacción tan sensible que se lleva a cabo con el hierro de la mioglobina de la carne en los embutidos. El BHA en presencia de altas concentraciones de iones alcalinos como sodio o potasio desarrolla una tonalidad rosa. O el Sulfito de potasio quien a una concentración mayor de 200 ppm puede provocar olores desagradables.

7. *Ser de bajo costo*: El uso de antioxidantes en alimentos debe ser lo menor posible para no afectar sensiblemente en el costo del mismo; es decir, que no debe elevar el costo del alimento a tal grado que sea inalcanzable para el consumidor.

Aunado a lo anterior, se encuentra el aspecto legislativo, el cual varía de acuerdo a cada país y se encuentra basado en los estudios que han sido realizados como en estos, o asumen como propios los marcados por otros países como es el caso de México: DL₅₀, toxicidad aguda, toxicidad crónica, teratogenicidad, mutagenicidad, carcinogenicidad, etc. Las pruebas antes mencionadas sirven para comprobar la seguridad de empleo de los aditivos.

En México la producción de aditivos (categoría dentro de la cual se engloban los antioxidantes) para alimentos ha ido en aumento en los últimos años, como lo muestra el Cuadro 41 y la gráfica 33 (87).

CUADRO 41

Producción de aditivos para alimentos 1990-1995 (miles de Ton)

PRODUCTO	1990	1991	1992	1993	1994	1995
Aditivos para alimentos	13.1	15.1	16.1	16.9	17.5	21.5

FUENTE: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (1996).

La Industria Química en México; Ed. INEGI; pp. 89.

Los datos mostrados en el Cuadro 41 y la Figura 33 muestran la tendencia global de aumento de los aditivos, de esto puede asumirse que en el caso de los antioxidantes la situación de aumento en el consumo es la misma.

Se extrapolaron los datos para el año 1996 y 1997 a partir de la pendiente obtenida y se obtuvieron los datos que muestra el Cuadro 42, mismos que se graficaron en la Figura 33. El coeficiente de regresión lineal $r = 0.9491$ muestra una clara tendencia a una línea recta, lo que quiere decir que la producción va en aumento.

CUADRO 42

Producción de aditivos para alimentos 1990-1997 (miles de ton)

PRODUCTO	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996 ¹	1997 ¹
Aditivos para alimentos	13.1	15.1	16.1	16.9	17.5	21.5	22.4	23.3

¹ = Datos extrapolados a partir de la pendiente.

Se sabe que la capacidad instalada de producción de aditivos es superior a la producción obtenida y esto es lógico debido a factores tales como:

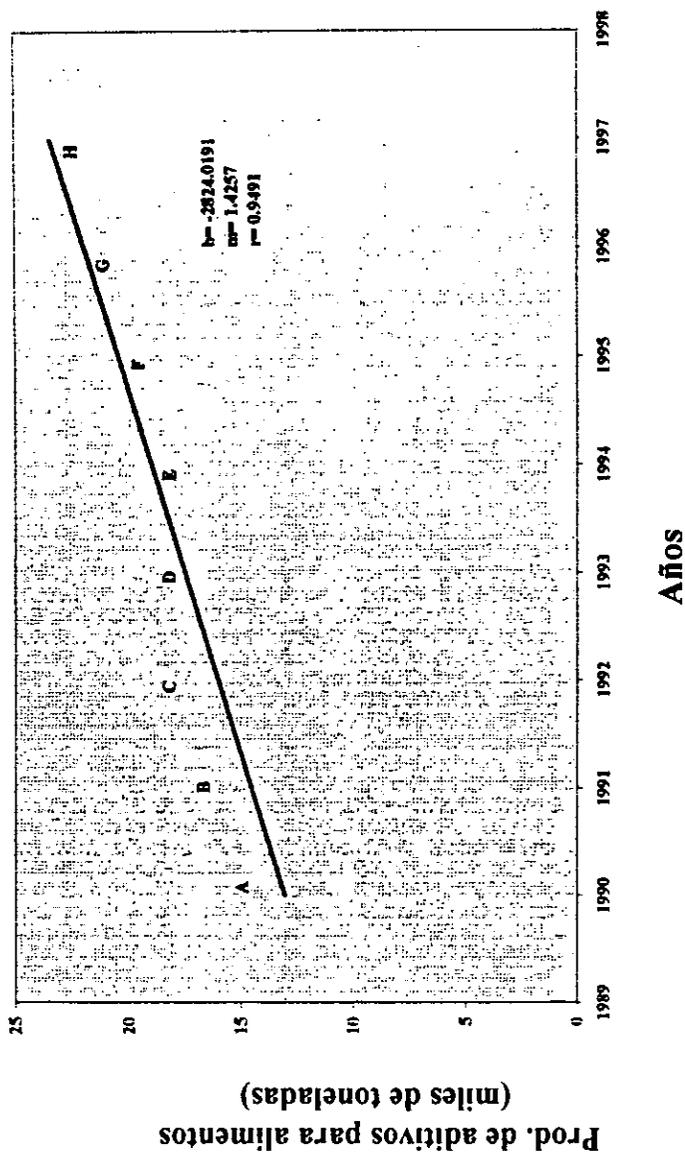


Fig. 33 Tendencia de la producción de aditivos para alimentos

Se sabe que la capacidad instalada de producción de aditivos es superior a la producción obtenida y esto es lógico debido a factores tales como:

Demanda: En la actualidad existe una gran variedad de productos en el mercado que requieren de aditivos para mejorar y conservar el producto y con ello aumentar la vida de anaquel. De ahí que el uso de aditivos como los antioxidantes vaya en aumento.

Costos de producción; Es necesario analizar si es conveniente producir aditivos tales como los antioxidantes en nuestro país o saldría más económico importarlos de otros países.

Tiempos de producción: Para alcanzar la producción deseada será necesario disminuir riesgos tales como falta de mantenimiento, falta de refacciones y personal no calificado.

Son factores que se deben tomar en cuenta para alcanzar la capacidad instalada con respecto a la producción obtenida. El Cuadro 43 muestra la tendencia de la capacidad instalada de producción de aditivos, así como los datos extrapolados para 1996 y 1997 en México, a partir de la pendiente obtenida.

CUADRO 43

Capacidad instalada para la producción de aditivos para alimentos 1990-1997

(miles de toneladas)

PRODUCTO	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996 ¹	1997 ¹
Aditivos para alimentos	19.1	22.9	23.2	27.4	27.6	32.7	33.6	34.6

FUENTE: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (1996).

La Industria Química en México; Ed. INEGI; pp. 89.

1 = Datos extrapolados a partir de la pendiente.

La Figura 34 muestra la tendencia de la capacidad instalada para la producción de aditivos y es claro que como lo muestra la gráfica irá en aumento.

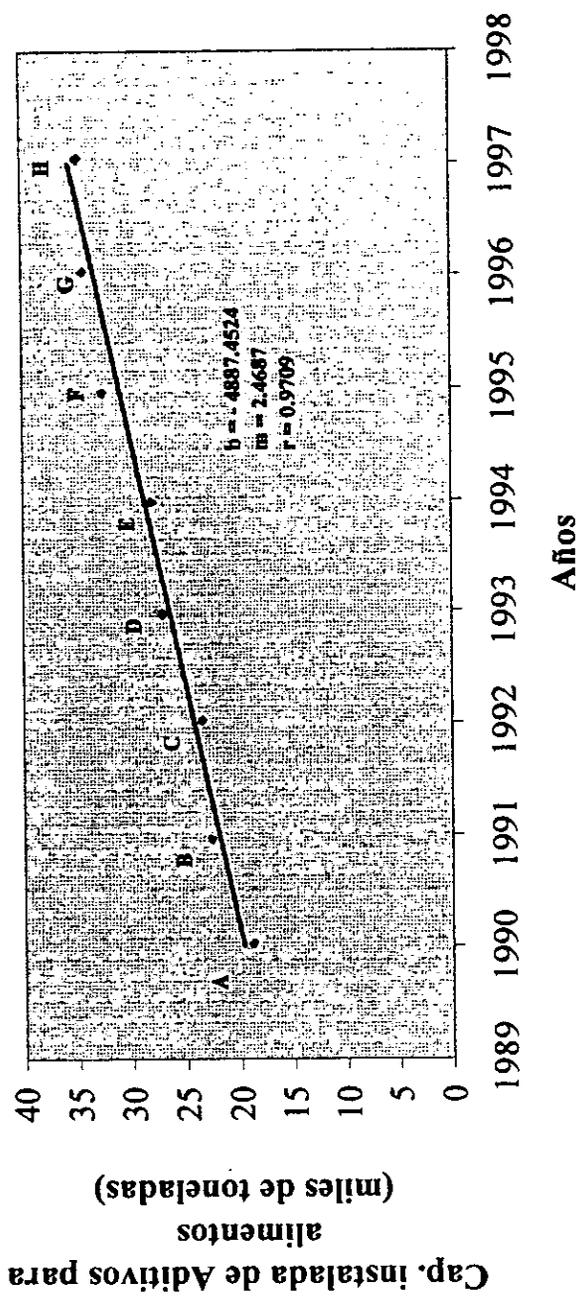


Fig. 34. Tendencia de la Capacidad Instalada para la Producción de Aditivos para Alimentos

Antes de analizar la situación de los antioxidantes en nuestro país se consideró importante realizar un breve análisis acerca de las grasas y aceites para entender el consumo de antioxidantes. El Cuadro 44 muestra el volumen de exportación de diferentes grasas y aceites del año 1995 (88).

Es claro que nuestro principal cliente comercial es Estados Unidos, seguido de Cuba que son los dos principales compradores de aceites y grasas tanto de origen animal como vegetal. Para continuar con el análisis se muestra el Cuadro 45, ahora implica los datos de importación de grasas y aceites de origen animal y vegetal (89).

Al analizar ambos cuadros es evidente que el volumen de la importación es mayor que el volumen de la exportación. En el caso de la manteca de cerdo y grasas de ave importamos un volumen de 34,600,589 kg de Canadá España, E.U., Francia, etc. y exportamos 24,962 Kg a Alemania, Arabia Saudita, Colombia, y España, de aquí se deduce que aparte de cubrir las necesidades del país el producto excedente se vende convirtiéndonos en intermediarios dejándonos un margen de ganancias importante. Un gran número de productos como aceite de bacalao, de pescado y de tiburón, grasas alimenticias preparadas a base de manteca representan el mayor volumen importado por lo que se deduce que tal vez es más barato comprar a otros países que producirlo en nuestro país además de que se debe analizar si contamos con la materia prima para la producción. Es importante notar los productos exportados como el aceite de soya, aceite de oliva, aceite de girasol, entre otros son productos que no importamos. Lo que es fácil de pensar que son productos que se producen y venden el excedente a otros países. Sin embargo el valor de exportación es menor (291,205 \$) que el valor de la importación (1,057,344 \$).

Con lo anterior se observa la importancia que tienen los antioxidantes en la industria de grasas y aceites, pues de ellos depende la estabilidad del producto y por ende su vida de anaquel. El Cuadro 46 muestra la exportación de algunos antioxidantes (88).

Para analizar el comportamiento del cuadro anterior se considera importante ver como actúan las importaciones. En el Cuadro 47 se muestra el volumen de la importación de los antioxidantes (89).

CUADRO 44
Volumen de la exportación de diferentes grasas y aceites en 1995

PRODUCTO	PAIS	CANTIDAD (kg)	VALOR (miles de N\$)
Manteca de cerdo y grasa de ave fundidas. Prensada y extraída con disolventes.	Alemania, Arabia Saudita, Colombia, España	24,962	158
Grasas animales (Bovina, ovina o caprina) en bruto, fundidas, prensadas o extraídas con disolventes.	Cuba	414,353	2,298
Aceite de hígado de pescado	Costa Rica, Cuba	35	3
Grasas y aceites de pescado y sus fracciones excepto los aceites de hígado.	Costa Rica, Cuba	53,331	147
Grasa de lana en bruto (suarda y sintina)	E.U.A; Países Bajos	10,915	97
Las demás grasas de lana y sustancias grasas derivadas.	Reino Unido, Irlanda	986,434	12,605
Aceite en bruto, incluso desgomado	Australia, Brasil, Salvador, España, E.U., Guatemala, Reino Unido, Irlanda, Venezuela.	25,358,951	104,962
Los demás aceites de soya.	E.U., Japón, Reino Unido e Irlanda, República Dominicana, Suiza, Venezuela.	1,344,957	6,755
Los demás aceites de oliva	Cuba, EU, Japón	20,849	93
Aceites en bruto de girasol o cártamo	Estados Unidos	28,550,194	141,938
Aceite de coco y sus fracciones	Belice, Canadá, Cuba Ecuador, Salvador E.U., Guatemala, Honduras	2,062	17

continuación CUADRO 44
 Volumen de la exportación de diferentes grasas y aceites en 1995

PRODUCTO	PAIS	CANTIDAD (kg)	VALOR (miles de N\$)
Aceite de palma y sus fracciones	Cuba, Guatemala	6,100	66
Aceite de Nabina, de Colza y de mostaza	Francia	14,976	955
Aceite de linaza y sus fracciones	E.U., Ecuador	42	1
Aceite de maíz y sus fracciones	Guatemala	41,220	576
Aceite de ricino y sus fracciones	E.U.	74,571	631
Aceite de ajonjoli	E.U., Guatemala Venezuela	683,847	8,902
Aceite de jojoba y sus fracciones	Australia, Canadá, Colombia, E.U., Guatemala, Honduras, Reino Unido e Irlanda	313,228	5,858
Grasas y aceites animales y vegetales hidrogenados, interesterificados, reesterificados, claidinizados.	Cuba, E.U., Guatemala, Países Bajos.	24,960	235
Margarina	E.U., Belice, Cuba	386,434	2,945
Acido estéarico	Costa Rica, Cuba, Taiwan, E.U., Guatemala, Japón, Suiza y Venezuela	227,334	1,894
Acido oleico	Costa Rica, Cuba, Salvador, E.U., Guatemala, Venezuela	10,146	69

FUENTE: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (1995).
 Anuario Estadístico del Comercio Exterior de los Estados Unidos Mexicanos,
 Exportación (en miles de pesos); Ed. INEGI; pp.41.

CUADRO 45
Volumen de importación de diferentes grasas y aceites en 1995.

PRODUCTO	PAIS	CANTIDAD (kg)	VALOR (miles de N\$)
Manteca de cerdo y grasas de ave, fundidas, incluso prensadas o extraídas con disolventes.	Cuba, España, E.U., Francia, Guatemala, India, Italia, Kenia, China	34,600,589	135,488
Grasas animales de las especies bovina, ovina y caprina en bruto o fundida, incluso prensadas o extraídas con disolventes.	Estados Unidos	241,447,843	725,508
Oleoesterearina	Estados Unidos	271,258	286
Aceite e bacalao	Estados Unidos	64,289	1,086
Los demás aceites de hígado de pescado y sus fracciones	Alemania, Bélgica, Francia, Islandia, Noruega	820	80
De pescado, excepto de bacalao y de tiburón	E.U., Noruega	76,434,070	164,245
Grasas alimenticias preparadas a base de manteca	Estados Unidos	10,702,123	30,651

FUENTE: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (1995).

Annuario Estadístico del Comercio Exterior de los Estados Unidos Mexicanos,

Importación (en miles de pesos); Ed. INEGI; Tomo I; pp.51.

CUADRO 46

Volumen de la exportación de Antioxidantes en 1995

PRODUCTO	PAIS	CANTIDAD (kg)	VALOR (miles de N\$)
Sulfito de sodio	Cuba, Salvador	10,000	130
Los demás sulfitos	Cuba	139,287	1,486
Tisulfatos	Colombia, E.U.	136	9
Carbonato de Ca	Costa Rica, Cuba, E.U., Nicaragua	7,202,148	3,870
Acido Citrico	Chile, España, E.U., Italia	2,944,099	28,893
Lecitinas y demás fosfo amino lípidos	Alemania, Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, Costa Rica, Chile, Ecuador E.U., Guatemala, Países Bajos, Japón, Perú, Rep. Dominicana, Sudáfrica.	18,901	149
Vitamina C y sus derivados	Chile, Cuba, Rep. Dominicana	28	1
Vitamina E y sus derivados	Cuba, Chile, Rep. Dominicana	100,093	853

CUADRO 47

Volumen de la importación de Antioxidantes en 1995

PRODUCTO	PAIS	CANTIDAD (kg)	VALOR (miles de N\$)
Sulfito o meta-bisulfito de sodio	Alemania, Canadá, E.U., Italia, Japón, Polonia, Reino Unido, Irlanda, Suiza, China	428,674	1,995
Sulfito de potasio	Alemania, Bélgica, Canadá, Chile, E.U., Hong Kong, Japón, China	2,526	31
Los demás sulfitos	Alemania, E.U.	2,526	31
Carbonato de Calcio	Alemania, E.U.	4,324,341	1,850
Galato de Propilo	Reino Unido e Irlanda	2,251	241
Lecitinas y demás fosfo amino lípidos	E.U.	625	3
Lecitina de soya	Estados Unidos	1,333,194	8,128
Las demás lecitinas y demás fosfo amino lípidos	Alemania, Brasil, Canadá, E.U., Italia	9,883	169
Vitamina C y sus derivados	E.U., Hong Kong	714	15
Vitamina E en polvo	Alemania, E.U., Francia, Japón	186,098	24,899
Vitamina E en forma de aceite al 96 %	Alemania, Rep. Fed. Checa, y Eslo, E.U., Francia, Italia, Reino Unido e Irlanda, Suiza	160,890	25,191
Las demás Vitaminas E y sus derivados	Alemania, E.U., Francia, Japón, Reino Unido e Irlanda, Suiza	86,855	9,675

El volumen de la exportación de antioxidantes es de 10,415,502 kg con un costo de 35,391 \$ y el de la importación es un volumen total de 6,538,877 kg con un costo total de 72,228 \$. Aunque el volumen de la exportación es mayor que el de la importación. El costo total es menor que el de la importación. Esto se puede explicar ya que es obvio que se venden antioxidantes que no producen otros países como es el caso del ácido cítrico y que se obtiene una mayor ganancia, o se venden altos volúmenes de carbonato de calcio a Costa Rica, Cuba, E.U., Nicaragua con un valor de 3,870 \$, sin embargo, también compramos carbonato de calcio con un valor de 1,850 \$, lo que hace pensar que México es un intermediario de productos hacia otros países dejando un margen de ganancia. Lo mismo sucede con la Vitamina C y sus derivados de los cuales se compra un volumen de 714 kg a Estados Unidos y Hong Kong, y se le vende a Cuba, Chile y Rep. Dominicana a un valor de 28 kg. El mayor valor de la importación corresponde a la Vitamina E y sus diferentes presentaciones; tan sólo representa el 82.74 % de las importaciones de los antioxidantes.

8.0 DISCUSION

En el presente trabajo se ha resaltado la importancia que tiene la protección contra la oxidación de las grasas, aceites y alimentos que contienen lípidos. El uso de antioxidantes ha permitido los medios para aumentar junto con otros aditivos y las buenas prácticas de manufactura la vida útil de los alimentos conservados o transformados. El empleo se ha visto influenciado por el constante desarrollo de nuevos y cada vez más variados productos que se ofrecen al consumidor. Sin embargo no se puede perder de vista que su uso no debe provocar riesgo alguno de orden toxicológico al consumidor.

En la presente revisión la clasificación de los antioxidantes fue hecha en base a su reactividad, aunque estos podrían haber sido clasificados en base a cualquier otra propiedad (origen, solubilidad, etc.). Los distintos antioxidantes presentan propiedades y características específicas en cuanto a solubilidad, estabilidad, etc., características de las cuales depende su particular aplicación en diversos productos y a partir de las cuales se podrían realizar otras clasificaciones.

A partir de la clasificación realizada se discutirá acerca de las características, metabolismo, aspectos toxicológicos y aplicaciones de los antioxidantes en alimentos.

- Bloqueadores de radicales peróxido:

A) *Antioxidantes sintéticos:*

Cada antioxidante tiene una temperatura a la que se volatiliza, lo cual es preciso tomar en cuenta si se emplea en aceites para freír, pues esta operación se lleva a cabo entre 180 ° y 220 °C y la actividad antioxidante disminuye dejando al lípido susceptible a la oxidación.

El BHT es uno de los antioxidantes resistentes al calor pero presenta el inconveniente de evaporarse rápidamente y tener un aroma desagradable. El BHA es un antioxidante volátil a

temperaturas elevadas y en presencia de vapor de agua; el GP pierde su efectividad en condiciones altas de temperatura, y el TBHQ es uno de los antioxidantes que protege a los aceites durante el freído, razón por la cual es un antioxidante empleado en aceites.

En cuanto a la solubilidad de los antioxidantes se muestra el Cuadro 48 para discutir más adelante esta característica de los antioxidantes.

CUADRO 48
Solubilidad de los Antioxidantes Sintéticos

ANTIOXIDANTE	SOLUBLE	INSOLUBLE
BHT	Alcohol, aceites	Agua, propilenglicol
BHA	Alcohol, propilenglicol	Agua
GP	Alcohol, éter, ligeramente en agua	—
TBHQ	Alcohol, éter	Agua
Butilhidroximetilfenol	Alcohol	Agua, propilenglicol
THBP	Alcohol, propilenglicol y ligeramente en agua	—
Heptilparabeno	alcohol y éter	Agua

La mayoría de los antioxidantes son insolubles en agua, excepto el GP y THBP. Esta característica es importante ya que se adecuan para sistemas con muy poca agua como son las grasas y aceites puros, los aderezos y productos cárnicos con alto porcentaje de agua, requieren antioxidantes lipófilos como el BHA o el BHT que por sus características se pueden emplear en estos sistemas. Todos son solubles en alcohol, en propilenglicol son solubles el BHA y THBP lo que no ocurre con los demás antioxidantes ya que algunos como el BHT y Butilhidroximetilfenol son insolubles.

Algunos antioxidantes presentan poder bactericida y se considera interesante que se evalúe experimentalmente más a fondo esta característica para analizar su potencial en este aspecto. trabajos de Eubanks y Beuchat (1982) (22); demostraron el poder bactericida de algunos de los antioxidantes sintéticos como por ejemplo el BHT a 150 ppm inhibe a la *Salmonella typhimurium*, a 400 ppm de BHA se inhibe completamente la *Salmonella typhimurium* y a 150 ppm se inhibe la formación en un 93 % a 100 % de *Staphylococcus aureus*. El BHA posee propiedades antifúngicas e inhibe la producción de aflatoxinas provenientes del *Aspergillus niger*. El GP a 3000 ppm reduce el número de colonias e inhibe el crecimiento, esporulación y producción de pseudomicelios de *Sacharomyces cerevisiae*. El TBHQ a 300 ppm inhibe el desarrollo de la *Salmonella Typhimurium*, *S. aureus* y *Pediococcus pentosaceus*.

El uso de antioxidantes está regulada por la legislación de los distintos países, por ejemplo la FDA permite el uso de antioxidantes como: BHT, BHA, TBHQ, GP, Etoxiquina, Butilhidroximetilfenol, THBP y Heptilparabeno a una concentración de 200 ppm o 0.2 % en alimentos.

A las concentraciones permitidas por la FDA los antioxidantes fenólicos sintéticos se excretan por la orina como conjugados glucurónidos como lo demuestra los trabajos realizados por Miguel García y col. (1988) (11). O en metabolitos como los del BHT como son el BHT-alcohol, BHT-aldehído, BHT-ácido, por mencionar algunos ejemplos. El heptilparabeno se excreta por la orina como ácido hipúrico.

En cuanto al aspecto toxicológico de estos antioxidantes se muestra el Cuadro 49 que contiene información acerca de las DL₅₀ de cada uno de los antioxidantes.

CUADRO 49

DL₅₀ de los Antioxidantes fenólicos sintéticos

ANTIOXIDANTE	DL ₅₀ (mg/kg)	VIA	ANIMAL
BHT	890	Oral	Rata
	138	Intraperitoneal	Ratones
BHA	2200	Intraperitoneal	Rata
	2100	Oral	Conejos
GP	3800	Oral	Ratas
TBHQ	700	Oral	Ratas
	300	Intraperitoneal	Ratas
Etoxiquina	800	Oral	Ratas
THBP	200	Intraperitoneal	Ratones

Comparando los datos obtenidos, a una sola dosis de BHT de 138 mg/kg resulta ser demasiado baja en comparación a la que se necesita de GP que es de 3800 mg/kg para que muera un 50 % de animales de laboratorio. De hecho, estudios realizados por Heijen y col. (1986) (65). en dietas para el hombre de 0.2 mg/kg de GP no mostraron evidencias de toxicidad por lo que se permitió su uso como antioxidante. Sin embargo el manejo de los antioxidantes debe ser cuidadoso respetando las dosis recomendadas para su aplicación.

Un aspecto toxicológico que presentan este tipo de antioxidantes es que inhibe la biosíntesis de prostaglandinas hasta en un 50 % a una dosis de 100.6 μ M de BHT, 6.7 μ M de BHA y hasta un 70 % usando GP como se demostró en el trabajo realizado por Boehme y Branen (1997) (13).

La aplicación de los antioxidantes fenólicos sintéticos es muy variada, y no solo ha mostrado inhibir las reacciones de oxidación en grasas, aceites y productos; sino que ha mostrado

preservar el color rojo en algunos productos de mar como lo es el uso del BHT en pescado *Sebastolubus alascamus* y *Sebastes alutus*, especies muy apreciadas en Japón. El BHT ha mostrado inhibir por otra parte la reacción de Maillard en productos donde la reacción es indeseable, su uso en productos donde es deseable debe ser restringida.

El BHA se usa en aceites esenciales en donde la oxidación es similar a la de los fosfolípidos y triglicéridos, este se adiciona al aceite después del procesamiento a baja temperatura para prevenir su oxidación. En carne de puerco y res el BHA ha mostrado ser efectivo para preservar su color. Estas características de ambos antioxidantes de preservar el color amplían su campo de aplicación en alimentos.

El Galato de propilo es muy activo en grasas de origen animal, aunque también se ha usado en aceites vegetales después de la refinación ya que es un antioxidante hidrófilo.

En años recientes el TBHQ es un antioxidante que ha adquirido popularidad ya que ha desplazado al BHA y BHT por presentar una mayor estabilidad en aceites vegetales. En carnes de res recién cocidas mostró ser un antioxidante efectivo al retardar la oxidación durante 12 meses almacenadas a -20°C como lo muestran los trabajos realizados por Crackel y col. (1988) (79).

El uso de la Etoxiquina está muy restringido, sólo se aplica en frutas como la pera y manzana para evitar decoloraciones (escalde) de estas frutas.

El Butilhidroximetilfenol y el THBP se usan principalmente en materiales de empaque a una concentración de 0.02 % y 0.005 % respectivamente. El Butilhidroximetilfenol se emplea en combinación con otros antioxidantes ya que presenta sinergismo y el THBP se usa tan solo en grasas y aceites.

El Heptilparabeno se aplica tan solo en cerveza y vinos a una concentración de 12 ppm, así como en bebidas no carbonatadas, bebidas de frutas y bebidas fermentadas malteadas.

B). *Antioxidantes naturales:*

Los antioxidantes naturales, llamados así por ser extraídos de fuentes naturales principalmente, presentan algunas características similares entre ellos. La Vitamina E y la Lecitina se oxidan fácilmente por lo que se deben proteger de la luz y oxígeno o utilizar antioxidantes como el BHA en el caso de la lecitina; el BHA mostró ser el más efectivo en inhibir las reacciones de oxidación como lo muestran los trabajos realizados por Warner y col. (1986) (44).

En cuanto a la solubilidad se muestra el Cuadro 50.

CUADRO 50
Solubilidad de los Antioxidantes Naturales

ANTIOXIDANTE	SOLUBLE	INSOLUBLE
Vitamina E	Aceite, etanol, cloroformo, éter	Agua
NDGA	Alcohol, acetona, agua caliente	Benceno, éter de petróleo
Goma o resina de guayaco	Etanol, éter, cloroformo, soluciones alcalinas, benceno	Agua
Extracto de Romero	Etanol	—
Lecitina	Etanol, cloroformo, éter, aceites minerales, grasa caliente, sulfuro de carbono	Agua, acetona

La mayoría de estos antioxidantes son insolubles en agua, característica importante ya que se adecuan para sistemas o productos con alto porcentaje de agua como por ejemplo las carnes. Al ser insoluble no entran en competencia la grasa y el agua por el antioxidante y de esta manera es más eficiente la protección contra la oxidación de la grasa. Aunque la lecitina tiene la peculiaridad de ser insoluble en agua, se hidrata formando emulsiones; esto se debe a que su molécula contiene una parte hidrófoba y otra hidrófila. Este antioxidante puede ser usado en ambos tipos de sistemas (seco y acuoso). Los cinco antioxidantes son solubles en etanol, 3 de ellos como la Vitamina E, goma o resina de guayaco, y lecitina son solubles en cloroformo y éter.

Las concentraciones permitidas para los antioxidantes naturales no son mayores al 0.02 %. La goma de Guayaco se usa a una concentración no mayor al 0.01 %. El extracto de romero mostró ser efectivo al 0.02 %; el uso de NDGA está muy restringido ya que la FDA sólo permite una concentración de 0.005 % en materiales de envase y embalaje. La Vitamina E y la lecitina no reportan concentraciones y se limita su uso en conformidad de buenas prácticas de manufactura.

La actividad antioxidante de la goma de guayaco, del extracto de romero y de la lecitina se debe a la presencia de sustancias fenólicas como son el guayacol, el ácido clorogénico y la cefalina respectivamente. En la Vitamina E poseen actividad vitamínica α , β y δ -Tocoferol, esta actividad decrece en el sentido de α a δ , mientras que la actividad antioxidante aumenta en el mismo sentido. O sea que el α -Tocoferol es más eficiente como antioxidante que el β y el δ -tocoferol. La restricción de uso de estos antioxidantes depende de su costosa extracción; sin embargo existen otras aplicaciones que justifican su uso en alimentos como su efectiva actividad antioxidante, su valor nutrimental, entre otras.

El aspecto toxicológico de los antioxidantes naturales muestran un panorama más alentador que el que presentan los antioxidantes sintéticos como lo muestra el Cuadro 51.

CUADRO 51

DL₅₀ de los Antioxidantes naturales

ANTIOXIDANTE	DL ₅₀ (mg/kg)	VIA	ANIMAL
NDGA	2000	Oral	Ratas
Goma o resina de Guayaco	1120	Oral	Cuyos
	5000	Oral	Ratas
Extracto de Romero	5000	Oral	Ratas

Los datos muestran que se necesitan dosis más altas para que muera el 50 % de una población de animales de laboratorio en comparación con los antioxidantes fenólicos sintéticos. esta característica podría ser una justificación importante para el uso de antioxidantes naturales a pesar del alto costo de los mismos debido a que son menos tóxicos que los sintéticos.

La Vitamina E al contrario de los demás antioxidantes presenta problemas de orden toxicológico por deficiencia. Es decir, se necesita ingerir Vitamina E ya que de no hacerlo provocaría la degradación tubular renal, pigmentación de los depósitos lipídicos, necrosis hepática y muscular por mencionar algunos aspectos. Caso contrario es el NDGA ya que en E.U. se prohibió su aplicación en alimentos y sólo se usa a una concentración de 0.005 % en materiales de envase y embalaje. A la misma concentración se emplea con la misma finalidad la goma o resina de guayaco.

La goma o resina de guayaco y el extracto de romero se usan como saborizantes, característica que justifica su empleo en alimentos.

La lecitina además de su uso como antioxidante se usa como emulsificante por la misma razón que se mencionó anteriormente. Además se usa en productos infantiles y de confitería, grasa especial para alimentos a la plancha, etc.

Sinergistas secuestrantes de metales:

Los agentes sinérgicos son aquellos que al combinarse con otros antioxidantes aumentan la efectividad que la misma cantidad de antioxidantes simple. En este grupo de antioxidantes los más frecuentemente usados son los agentes secuestrantes como el EDTA de sodio, ácido cítrico y ácido ascórbico.

Los tres antioxidantes mencionados presentan la característica de tener afinidad por los metales pesados como el hierro. En cuanto a las concentraciones permitidas para su uso está muy limitado en alimentos. El uso del EDTA en mezclas con otros antioxidantes se permite a una concentración de 200 a 300 ppm, de ácido cítrico 4500 ppm, el ácido ascórbico a concentraciones de 100 ppm actúa como prooxidante y a concentraciones mayores de 200 ppm actúa como antioxidante por lo que hay que cuidar las concentraciones de uso.

En cuanto a la solubilidad de los secuestrantes de metales, se muestra el Cuadro 52.

CUADRO 52

Solubilidad de los antioxidantes sinergistas secuestrantes de metales.

ANTIOXIDANTE	SOLUBLE	INSOLUBLE
EDTA	Agua	Grasas y aceites
Acido cítrico	1 g es soluble en 0.5 ml de agua 1 g es soluble en 2 ml de alcohol 1g es soluble en 30 ml de éter y propilenglicol	Grasa
Acido ascórbico	1 g es soluble en 3 ml de agua 1g es soluble en 30 ml de alcohol	Cloroformo, benceno, éter de petróleo.

Se puede observar en el Cuadro anterior que los 3 antioxidantes son solubles en agua, característica importante ya que es ampliamente usado en frutas y hortalizas y productos de

ambos. Son insolubles en grasa el EDTA y el ácido cítrico. El ácido ascórbico presenta insolubilidad a solventes tales como el benceno, éter, etc. Este antioxidante se fija en grasas y aceites, es una característica necesaria ya que es capaz de regenerar a los antioxidantes fenólicos proporcionando átomos de hidrógeno en la reacción en cadena de la oxidación lipídica.

El origen del ácido cítrico y del ascórbico es natural, ya que se encuentra presente en el zumo de limón y otros frutos cítricos. Ambos antioxidantes retardan el oscurecimiento de frutas y hortalizas provocado por enzimas como la polifenoloxidasas, secuestrando el cobre que forma parte de la enzima cumpliendo por tanto con varias funciones benéficas al aplicarse.

El ácido ascórbico tiene propiedades vitamínicas por lo que su consumo es indispensable para el hombre que es incapaz de sintetizarlo, aunque en otras especies como el cayo (acouchi y agouti) lo biosintetizan en cantidad necesaria para su organismo como lo demostraron Yess y col. (1967) (69). El ácido ascórbico desempeña la función de oxidar la tirosina a nivel celular e interviene en la formación y conservación del tejido conectivo del hombre.

En cuanto al aspecto toxicológico el Cuadro 53 muestra la DL₅₀ de los antioxidantes sinérgicos secuestrantes de metales.

CUADRO 53

DL₅₀ de los Antioxidantes sinérgicos secuestrantes de metales.

ANTIOXIDANTE	DL ₅₀ (mg/kg)	VIA	ANIMAL
EDTA	2000	Oral	Ratas
Ac. cítrico	6730	Oral	Ratas
	883	Intraperitoneal	Ratas
Ac. ascórbico	518	Intravenosa	Ratones

Las dosis letales que se muestran en el cuadro anterior son bajas para el ácido cítrico y ácido ascórbico que se necesita para matar un 50 % de la población de animales. Aunque no se

deben perder de vista los trabajos de Evans y Ali (1967) (56) que encontró que el abuso del EDTA en la dieta pueden reducir la disposición biológica de metales que se encuentran en alimentos como son el Fe, Ca, Mg, etc., eliminando los iones indispensables para el ser humano pues estos actúan como cofactores de enzimas. O los trabajos realizados por Jensen y Frank (1966) (57), encontraron que el requerimiento de zinc en pavos puede reducirse por la presencia de EDTA, y provoca descalcificación en huesos en polluelos.

En frutas y hortalizas se usan ampliamente los antioxidantes ácido cítrico y ácido ascórbico por quelar el cobre que forma parte de la enzima polifenoloxidasas responsable del oscurecimiento; así como para acelerar el curado de carnes e inhibir la oxidación en productos del mar como los mariscos y pescado.

En el enlatado de vegetales se pueden llevar a cabo reacciones químicas que reducen la calidad del alimento. Estas reacciones son provocadas por metales provenientes del agua empleada, o por el desprendimiento de la misma lata o del alimento. El uso de EDTA es ampliamente usado para evitar estas reacciones quelando los metales que se encuentran en el medio.

Agentes reductores:

“Un agente reductor es una sustancia que pierde uno o más electrones y en este proceso se oxida, un agente oxidante gana uno o más electrones y con ello se reduce”. Entre los cuales se encuentran el piro-sulfito de potasio, sulfito de potasio, carbonato de sodio, hipofosfito de sodio, metabisulfito de sodio, sulfito de sodio, tiosulfato de sodio y cloruro de estaño. Estos tienen la peculiaridad de que se oxidan lentamente a sulfatos en presencia de aire y pierden sus propiedades antioxidantes excepto el carbonato de sodio y el cloruro de estaño.

En cuanto a la solubilidad de los agentes reductores se muestra el Cuadro 54.

CUADRO 54

Solubilidad de los antioxidantes reductores

ANTIOXIDANTE	SOLUBLE	INSOLUBLE
Pirosulfito de potasio	Agua	Alcohol
Sulfito de potasio	1 g/3.5 ml de agua, poco en alcohol,	----
Carbonato de sodio	Agua	----
Hipofosfito de sodio	1 g/1 ml de agua a 25 °C, 6 g/1 ml de agua a 100 °C, poco soluble en alcohol	----
Metabisulfito de sodio	Agua	Alcohol
Sulfito de sodio	1 g/4 ml de agua, glicerol	Etanol
Tiosulfato de sodio	1 g/0.5 ml de agua	Etanol
Cloruro de estaño	Agua, etanol, HCL, acetato de etilo, ácido acético glacial, sol. de hidróxido de sodio.	Xileno

El Cuadro muestra que todos los antioxidantes son solubles en agua, es una característica que permite a los antioxidantes usarse en frutas y hortalizas y de este modo inhibir las reacciones de oxidación provocadas por la enzima polifenoloxidasas. En su mayoría son insolubles en alcohol etanol excepto el cloruro de estaño que es insoluble en xileno. La solubilidad en agua de hipofosfito es uno a uno, es decir, que se solubiliza en un 100 % en agua, mientras que el sulfito de sodio necesita 4 ml de agua para disolver 1 g del antioxidante.

El uso de antioxidantes reductores tales como el sulfito de potasio y sulfito de sodio se permite a una concentración no mayor de 200 ppm ya que ambos a mayores concentraciones

provocan olores desagradables en el alimento. Estos antioxidantes reductores se eliminan por la orina como sulfatos mediante la enzima sulfito-oxidasa sin provocar efectos dañinos además del metabisulfito de sodio.

En el Cuadro 55 se muestra la DL₅₀ de los antioxidantes reductores.

CUADRO 55

DL₅₀ de los Antioxidantes reductores

ANTIOXIDANTE	DL ₅₀ (mg/kg)	VIA	ANIMAL
Carbonato de sodio	4090	Oral	Ratas
Hipofosfito de sodio	1584	Intraperitoneal	Ratones
Metabisulfito de sodio	115	Intravenosa	Ratas
Sulfito de sodio	115	Intravenosa	Ratas
	175	Intravenosa	Ratones
Cloruro de estaño	700	Oral	Ratas
	66	Intraperitoneal	Ratones

En comparación con los datos de los otros antioxidantes estos presentan que a dosis mucho menores provocan la muerte de un 50 % de animales de laboratorio; sólo el carbonato de sodio y el hipofosfito de sodio requieren dosis más grandes mostrando por ende una menor toxicidad. Sin embargo, no estaría de más extremar precauciones de uso, además de que a dosis mayores de 200 ppm provocan olores y sabores desagradables en el alimento o producto como se analizó anteriormente.

Además de que los antioxidantes reductores tienen la característica de inhibir las reacciones de oxidación provocadas por enzimas; el metabisulfito de sodio, el hipofosfito de sodio y el sulfito de sodio inhiben la reacción de Maillard al bloquear los grupos carbonilo libres de los azúcares y

evitar que éstas interaccionen con los aminoácidos. Este grupo de antioxidantes como observamos inhiben ambos tipos de reacciones y casi no tienen efecto alguno sobre grasas y aceites.

Otra característica importante de los antioxidantes reductores es que poseen actividad bactericida como el hipofosfito de sodio, el piro-sulfito de potasio y el metabisulfito de sodio.

Por último es que este tipo de antioxidantes reductores se usan ampliamente en la industria vitivinícola para blanquear y eliminar colores café indeseables.

Otros:

Existen otro tipo de antioxidantes, además de los anteriormente expuestos que en los próximos años podrían tener una gran aplicación en alimentos como son: MRP, lignina, jengibre y extracto de mostaza.

Los 4 antioxidantes son naturales, por tanto esa característica justificaría aún más su uso en alimentos además de la efectividad como antioxidante que presenta y que más adelante se discutirá.

En la actualidad existe una gran variedad de alimentos procesados en el mercado; y cada vez más el consumidor exige que no presente riesgo alguno; estos antioxidantes ofrecen una alternativa junto con otros aditivos alargar la vida útil del producto.

La actividad antioxidante de los productos de la reacción de Maillard se debe por un lado a la melanoidinas que actúan como secuestrantes de metales en especial el Hierro y el Cobre y por otro las reductonas que actúan como agentes reductores. Los trabajos realizados por Yamaguchi y Fujimaki (1988) (82), demostraron que en sistemas modelo los MRP tienen efecto sinérgico con β, γ, δ -Tocoferol pero no con α -Tocoferol.

La actividad antioxidante de los demás antioxidantes se debe a la presencia de compuestos fenólicos. La lignina es un polímero tridimensional responsable de la rigidez de la pared celular de vegetales, contiene en su molécula vainillina, aldehído siringico, compuestos fenólicos o el ácido p-hidroxibenzoico, o el ácido sinápico del extracto de mostaza como lo mostraron los trabajos de Shaidi y col. (1994) (86).

A concentraciones de 200 ppm (0.02 %) los MRP han mostrado ser efectivos en inhibir las reacciones de oxidación. Los demás antioxidantes no cuentan con alguna referencia en cuanto a concentraciones. Sin embargo se podría tomar como base los 200 ppm (0.02 %) para posteriores trabajos.

Los MRP son insolubles en agua, pero solubles en grasas y aceites; de hecho esta característica le ha permitido ser efectivo en la inhibición de la oxidación en aceites tales como el de soya, algodón, incluso más efectivo que el GP. En embutidos y carnes de res ha mostrado ser efectivo en inhibir las reacciones de oxidación o de mantener el sabor característico de la carne por largos periodos de almacenaje como lo mostró Mann y col. (1989) (83).

La lignina es insoluble en agua, pero soluble en grasa y aceites, protege a los productos ahumados de la oxidación así como a la Vitamina A por la presencia de lignina durante la digestión en ratas como lo mostraron los trabajos de George y Elaine (1982) (84).

El jengibre es soluble en aceites fijos y alcohol, insoluble en glicerina y propilenglicol. Al igual que los antioxidantes arriba mencionados se usa en grasas y aceite de origen animal, así como en productos como la hamburguesa, el jengibre mostró inhibir las reacciones de oxidación como lo demostró Lee y col. (1986) (85). Una característica similar a la del extracto de mostaza es que se usan como agentes saborizantes debido al sabor picante de ambos antioxidantes. El extracto de mostaza es soluble en etanol. En trabajos como los de Shahidi y col. (1994) (84) mostró que en sistemas modelo el extracto de mostaza inhibió las reacciones de oxidación de linoleato incluso más efectivamente que el BHA.

En nuestro país, la legislación básicamente se rige por lo que se permite en Estados Unidos; sin embargo, aprueba el uso de antioxidantes cuya toxicología no se encuentra claramente definida, ya sea aplicándose en la industria alimentaria, como en la industria farmacéutica, la cual presenta un aspecto que debe estudiarse a fin de prevenir posibles riesgos que pudieran manifestarse durante el consumo de estos antioxidantes al consumidor. El TBHQ fue aprobado en 1972 por la FDA pero en la Comunidad Europea no se permite su uso. O la Etoxiquina que solo a 100 ppm (0.01 %) la FDA permite su uso en alimentos. Antioxidantes como el THBP o

Butilhidroximetilfenol se usa principalmente en materiales de envase y embalaje a una concentración de 0.02 % (200 ppm). Para los antioxidantes naturales como la Vitamina E y la lecitina no existe un límite de concentración; sin embargo, antioxidante natural como el NDGA sólo se utiliza en materiales de empaque y embalaje solamente a una concentración de 0.005 %, ya que la FDA prohibió su uso en alimentos por presentar efectos tóxicos al riñón.

Asimismo, en México no se disponen de organismos que regulen las estadísticas del uso de antioxidantes o que determinen el mercado de estos productos, así como sus características, por lo que la información respecto a esta materia resulta estar dispersa. Aunado a lo anterior, se tiene que muchos antioxidantes no se producen en nuestro país y eso lo demuestra los grandes volúmenes de importación hecho por compañías comercializadoras. Por otro lado, no existe información sobre la producción y consumo de muchos de los antioxidantes lo que dificulta un buen análisis de los antioxidantes usados en México.

Finalmente se espera que el uso de antioxidantes que presenten riesgo para los consumidores se eliminen del mercado y se preste mayor atención a aquellos que ofrecen una buena actividad antioxidante sin presentar riesgo alguno.

9.0 CONCLUSIONES

En el desarrollo del presente trabajo se ha podido resaltar la importancia que tienen los antioxidantes para la industria alimentaria. Se han podido observar las características fundamentales que presentan los antioxidantes que se emplean. Dichas características comprenden principalmente las relativas a sus propiedades (solubilidad, estabilidad, sinergismo, etc.), metabolismo, toxicología y aplicaciones.

De acuerdo a lo anterior, es posible derivar las siguientes conclusiones:

- En la actualidad los antioxidantes sintéticos son muy usados en aceites y grasas tanto de origen vegetal como animal por ofrecer una buena protección contra las reacciones de oxidación.

- El TBHQ es uno de los antioxidantes que protege a los aceites durante el freído, razón por la cual es un antioxidante empleado en aceites.

- Antioxidantes como el BHT ha mostrado inhibir la reacción de Maillard en productos donde la reacción es indeseable, su uso en productos donde es deseable debe ser restringida.

- De los antioxidantes fenólicos el BHT ha mostrado preservar el color rojo en algunos productos del mar, como el pescado *Sebastolubus alascanus* y *Sebastes alutus* especies muy apreciadas en Japón.

- Los siguientes antioxidantes presentan poder bactericida como se muestra en el Cuadro 56.

CUADRO 56

Poder bactericida de algunos antioxidantes

ANTIOXIDANTE	MICROORGANISMO INHIBIDO	CONCENTRACION (ppm)
BHT	<i>Salmonella Typhimurium</i>	150
BHA	<i>Salmonella Typhimurium</i>	400
	<i>Staphylococcus aureus</i>	150
GP	<i>Staphylococcus aureus</i>	100
	<i>Sacharomyces cerevisiae</i>	3000
TBHQ	<i>Salmonella Typhimurium</i>	300
	<i>Pediococcus pentosaceus</i>	300

- Una de las restricciones del uso de antioxidantes naturales es su costo elevado. Sin embargo, han mostrado poseer efectividad en la inhibición de la oxidación de grasas y aceites.

- Lo que hace menos atractivo el uso de antioxidantes naturales, es que presentan reacciones típicas de oxidación ya que en su mayoría son extractos en aceite; por lo que se tiene que usar otro antioxidante para su conservación, a pesar de tener la ventaja de considerarse no tóxicos y por ende permitirse su uso sin restricción.

- Antioxidantes como los MRP, el extracto de jengibre, el extracto de mostaza y la lignina ofrecen alternativas de empleo por considerarse naturales ya que como aditivos en alimentos no se cuenta con evidencias tóxicas que cuestionen su uso, pero sí evidencias de su efectividad como antioxidantes.

- Conocer las características del alimento son necesarias para la selección del antioxidante a usar.

- Antioxidantes sintéticos tales como: BHT, BHA, GP, TBHQ, Etoxiquina, han mostrado inhibir la biosíntesis de prostaglandinas.

- La concentración es un factor muy importante en el uso de antioxidantes: Los antioxidantes naturales a altas concentraciones actúan como prooxidantes, los secuestrantes pueden provocar problemas de desnutrición por eliminar iones indispensables que actúan como cofactores de enzimas y los reductores pueden provocar olores y sabores indeseables en el alimento. Por lo que el uso que se de al antioxidante dependerá la presentación, costo y calidad del alimento.

10. BIBLIOGRAFIA

1. Badui Dergal, Salvador (1990). Química de los Alimentos; Ed. Alhambra Mexicana; pp.213-277, 482-483, 466-467.
2. Wingrove, S. Alan (1984). Química Orgánica; Harla; pp. 1245-1260
3. Cheftel Jean, Claude; Cheftel, Henri (1988). Introducción a la Bioquímica y Tecnología de los Alimentos; Vol. I; Ed. Acribia; pp. 265-290.
4. Fennema, O.R. (1985). Introducción a la Ciencia de los Alimentos; Ed. Reverte; pp. 193-219
5. Multon, J.L.; Lapatre, F. (1988). Aditivos y auxiliares de fabricación en las Industrias Agroalimentarias; Ed. Acribia; pp. 157-182.
6. Fragner R., J. Adrian (1990). La Ciencia de los Alimentos de la A a la Z; Ed, Acribia; pp.30.
7. Belitz, H.D., Grosch, W. (1988). Química de los Alimentos; Ed. Acribia; pp. 133-209.
8. Lewis, J. Richard (1989). Food Additives Handbook; Ed. Van Nostrand Reinhold; pp. 68, 86, 99, 100, 102, 237, 242, 273, 311, 362, 364, 370, 382, 387, 395, 403, 428, 437, 446.
9. Hui, Y. H. (1992). Encyclopedia of Food Science and Technology; Ed. Advisory Board; pp. 73-79.
10. Johnson, H. Arnold, Peterson, S. Martin (1974). Encyclopedia of Food Technology; AVI; pp. 43-49.
11. García, Roche, Miguel O., Vidaud, Candebat, Zenén (1988). Acción, uso, análisis y toxicidad de los antioxidantes fenólicos empleados en Cuba; Revista Alimentaria; pp. 79-82.
12. Miller, Klara (1988). Toxicological Aspects of Foods; Ed. Elsevier Applied Science; pp. 31-293.
13. Boehme, M.A.; Branen, A.L. (1977). Effects of Foods Antioxidants on Prostaglandin Biosynthesis; pp. 1243-1250.
14. Wasson, D.H., Reppond, K.D., Kandians, T.M. (1991). Antioxidants to preserve Rockfish Color; Journal of Food Science; V. 56, No. 6; pp. 1564-1566.

15. Peterson, S. Martin, Johnson, H., Arnold (1978). Encyclopedia of Food Science; AVI Publishing Company; pp. 536-539.
16. Furia, E; Thomas (1975). Handbook of Food Additives; Ed. CRC Press; pp. 185-223.
17. Considine, M. Douglas (1982). Foods and Food Production Encyclopedia; Van Nostran Reinhold Company; pp. 52-57.
18. Fennema, Owen, R. (1985). Food Chemistry; Editorial Marcel Dekker; pp. 139-144.
19. Bautista, N. Myrna, Subosa, F. Precilia, Lavilla-Pitogo, R. Celia (1992). Effects of antioxidants on feed quality and growth of *Penaeus monodon juveniles*; J. Sci. Food Agric; pp. 55-60.
20. Min, D.B., Ticknor, D.B., Lee, S.H., Reineccius, G.A. (1990). Effects of processing conditions and antioxidants on the oxidative stability and carbon dioxide formation in low fat dry milk; Journal of Food Science; Vol. 55, No. 2; pp.401-403.
21. Chastain, M.F., Huffman, D.L., Hsien, W.H., Cordrary, J.C. (1982). Antioxidants in restructured beef/pork steaks; Journal of Food Science; Vol. 47; pp. 1779-1782.
22. Eubanks, V.L., Beuchat, L.R. (1982). Effect of antioxidant on growth, sporulation and Pseudomycelium production by *Sacharomyces cerevisiae*; Journal of Food Science; Vol. 47, No. 5; pp. 1717-1721.
23. Committee on Codex Specifications (1981). Food Chemicals Codex; Ed. National Academy Press; pp. 27, 28, 37, 38, 43, 46, 100, 104, 105, 110-112, 141-142, 166-167, 247,253, 255-258, 265, 277, 278, 280, 285, 288-290, 303-333.
24. Wilson R. H. (1959). Toxicity studies on the antioxidant 6-etoxy-1-2-dihidro 2,2,4-trimethyquinoline; Journal of Agricultural and Food Chemistry; pp. 203-206.
25. Chen p.M., Varga D.M., Mielke E.A., Facticeau T.J., Drake S. R. (1990). Control of superficial scald on d' Anjou pears by etoxyquin: Effect of etoxyquin concentraton, time and method of application, and a combined effect with controlled atmosphere storage; Journal of Food Science, Vol. 55, No. 1; pp.167-170.

26. Chen P.M., Varga D.M., Mielke E.A, Facticeau T.J., Orake S.R. (1990). Control of superficial scald on "d' Anjou" pears by etoxyquin: Oxidation of α -farnesene and its inhibition; Journal of Food Science; Vol. 55, No. 1; pp. 171-180.
27. Valdes Martinez, Sara Esther (1979). Obtención de aceite de Palma China "Yucca filifera"; Tesis; pp. 10-22.
28. Badui Dergal, Salvador (1996). Diccionario de Tecnología de los Alimentos; Ed. Alhambra Mexicana; pp. 27, 53, 63, 66, 72, 87, 118, 132, 142, 158, 162-163, 173, 179.
29. Lundberg W.O. (1962). Autoxidation and Antioxidants, Vol I.; Ed. Interscience Publishers; pp. 477-543.
30. Clark J.P., Hunsicker J.C., Megremis C.J. (1990). Tocopherols: Nature's Antioxidant; Food Australia, Vol. 42, No. 5; pp. 262-264.
31. Villee A. Claude (1974). Biología, Sexta Edición; Ed. Interamericana; pp. 365.
32. Lehninger L. Albert (1986). Principios de Bioquímica; Ed. Omega; pp. 268 y 308.
33. Brown Glenn R., Button M. Grace, Smith T. John (1967). Effect of Vitamin E deficiency on collagen metabolism in the rat's skin; The Journal of Nutrition; 91; pp. 99-106.
34. Harrill Inez, gifford Dyak Elizabeth (1966). Effect of Vitamin E, Arginine and Methionine on free aminoacids and lipids in selected rat tissues; The Journal of Nutrition, No. 89; pp. 245-250.
35. Bieri J.G., Mason K.E. (1968). Vitamin E activity of N-Methyl- β -Tocopheramine in the rat reproduction assay; The Journal of Nutrition, No. 96; pp. 192-194.
36. Resurreccion V.A. Anna, Reynolds A.E. (1990). Evaluation of natural antioxidants in Frankfurters containing chicken and pork; Journal of Food Science, Vol 55, No. 3; pp. 629-654.
37. Encyclopedia of Chemical, Drugs, and Biological (1996). The Merck Index; Ed. Merck Research Laboratories Division of Merck and co., INC, Twelfth Edition; pp. 256, 257, 271, 640, 641, 775, 776, 867, 925, 926, 1316, 1477, 1481, 1620.

38. Liu H. F., Brooren A.M.; Gray J.I.; Crackel R.L. (1992). Antioxidant efficacy of Oleoresin Rosemary and Sodium Tripolyphosphate in restructured pork steaks; Journal of Food Science, Vol. 57, No. 4; pp. 803-806.
39. Fang Xin, Wada Shun (1993). Enhancing the Antioxidant Effect of α -Tocopherol with Rosemary in inhibiting catalyzed oxidation caused by Fe^{2+} and Hemoprotein; Food Research International; No. 26; pp. 405-411.
40. Toyosaki Toshiyuki, Yamamoto Akemi, Mineshita Takeshi (1987). Antioxidant Effect of Riboflavin Tetrabutylate in Emulsions; Journal of Food Science, Vol. 52, No. 5; pp. 1377-1380.
41. Hemda H.M., Klein B.P. (1990). Effect of Naturally occurring Antioxidants on Peroxidase activity of vegetable extracts; Journal of Food Science, Vol. 55, No. 1; pp. 184-185.
42. Bunckley D.J., Gray J.I., Asghar A., Price J.F., Crackel R.L., Booren A.M., Pearson A.M., Miller E.R. (1989). Effects of Dietary Antioxidants and oxidized oil on membranal lipid stability and pork product quality; Journal of Food Science, Vol. 54, No.5; 1193-1197.
43. Reinton Ragnhild, Rogstad Astri (1981). Antioxidants activity of Tocopherols and Ascorbic Acid; Journal of Food Science, Vol. 46; pp. 970-973.
44. Warner K., Frankel G.N., Snyder J.M., Porter W.L. (1986). Storage Stability of Soybean oil-based salad dressings: Effects of antioxidants and hydrogenation; Journal of Food Science, Vol. 51, No. 3; pp. 703-708.
45. Hayes R.E., Bookwalter G.N., Bagley E.B. (1977). Antioxidant activity of soybean flour and derivates a review; Journal of Food Science, Vol. 42, No. 6; pp. 1527-1532.
46. Pratt E. Dan, Di Pietro Carmine, Porter L. William, Giffie Walter J. (1982). Phenolic antioxidant of soy protein hydrolyzates; Journal of Food Science, Vol. 47, No. 1; pp. 22-24.
47. Hammerschmidt A. Patricia, pratt E. Dan (1978). Phenolic antioxidants of dried Soybeans; Journal of Food Science, Vol. 43; pp. 556-559.
48. Pratt E. Dan, Birac M. Paula (1979). Source of antioxidant activity of Soybeans and Soy products; Journal of Food Science, Vol. 44; pp. 1720-1722.

49. Yen Chin-Gow, Lai Hsiang-Yung (1987). Influence of antioxidant on Maillard browning reaction in a casein-glucose model system; Journal of Food Science, Vol. 52, No. 4; pp. 1115-1116.
50. Hirose M., Fukushima S., Tsuda H., Shirai T., Tatematsu M. (1986). Studies on antioxidants: Their carcinogenic and modifying effects on chemical carcinogenesis; Food and Chemical Toxicology, Vol. 24; pp. 1071-1082.
51. Brown Reed J. Barbara, Harrison L. Dorothy, Setser Carole (1978). Ground beef exposed to radiant energia: Effects of fat and BHA on color; Journal of Food Science, Vol. 43; pp. 827-829.
52. Potter N. Norman (1973). La Ciencia de los Alimentos; Ed. Edutex, 1° Edición; pp. 55.
53. Murillo Hector (1978). Química Orgánica; Ed. Eclalsa; pp. 186.
54. Higashida Hisose Bertha Yoshiko (1983). Ciencias de la Salud; Ed. McGraw Hill; pp. 336-337.
55. Furia E. Thomas (1975). Handbook of Food Additives; Ed. CRC Press; pp. 271-294.
56. J.L. Evans, R. Ali (1967). Calcium utilization and feed efficiency in the growing rat as affected by dietary calcium, buffering capacity, lactose and EDTA; The Journal of Nutrition; pp. 417-424.
57. Jensen S. Leo, Mraz R. Frank (1966). Effect of chelating agent and high levels of calcium and phosphorus on bone calcification in chicks fed isolated Soy protein; The Journal of Nutrition; pp. 471-476.
58. R. Ali, J.L. Evans (1967). Effect of dietary calcium, buffering capacity, Lactose and EDTA on pH of and calcium absorption from gastrointestinal segments in the growing rat; The Journal of Nutrition, Vol. 93; pp. 273-279.
59. Ragnarsson J.D., Lerick D., Labuza T.P. (1977). Accelerated temperature study of antioxidants; Journal of Food Science, Vol. 42, No. 6; pp. 1536-1544.
60. Mahoney R. John, Graf Ernst (1986). Role of alpha-tocopherol, ascorbic acid, citric acid and EDTA as oxidants in model systems; Journal of Food Science, Vol. 51, No. 5; pp. 1293-1296.

61. Fennema O.R. (1985). Introducción a la Ciencia de los Alimentos, Vol. II; pp. 569-571.
62. Charley Helen (1987). Tecnología de Alimentos, Procesos químicos y físicos en la preparación de alimentos; Ed. Limusa; 1ª Edición; pp. 327-329.
63. Bang Eun Jong, Hearnberger O. James, Kim M. Jin (1993). Antioxidants, activators, and inhibitors affect the enzymic lipid-peroxidation system of catfish muscle microsomes; Journal of Food Science, Vol. 58, No. 1; pp. 71-74.
64. Chank M., Decker E.A., Means W.J. (1993). Extraction and activity of carnosine, a naturally occurring in beef muscle; Journal of Food Science, Vol 58, No. 1; pp. 1-4.
65. Heijen CA. Vander, Janssen P.J.C.M., Strik J.T.W.A (1986). Toxicology of gallates: A review and evaluation; Food and Chemical Toxicology; pp. 1067-1070.
66. Rehwoldt R. (1986). Tracking the use of antioxidants through industry surveys; Food and Chemical Toxicology; pp. 1039-1041.
67. Cheftel, Jean Claude; Cheftel, Henri (1988). Introducción a la Bioquímica y Tecnología de los Alimentos; Ed. Acribia, Vol. II; pp. 309-317.
68. Gómez, E. Martínez, A. Laencina, J. (1995). Prevention of oxidative browning during wine storage; Food Research International, Vol. 28, No.3; pp. 213-217.
69. Yess J., Norma; D.M., Hegsted (1967). Biosynthesis of ascorbic acid in the akouchi and agouti; Journal of Nutrition, Vol. 92; pp. 331-333.
70. Almeida Domínguez, N.G; Higuera Clapara, I.; Goycoolea. F.M.; Valencia, M.E. (1992). Package, temperature and TBHQ effects on oxidative deterioration of corn-based snacks; Journal of Food Science, Vol. 57, No. 1; pp. 112-117.
71. Tokarska, B., Hawrysh, Z.J.; Clandinin, M.T. (1986). Study of the effect of antioxidants on storage stability of canola oil using gas liquid chromatography; Canadian Institute of Food Science and Technology Journal; pp. 130-133.
72. J.T., Riker, T.W., Perry; C.J., Heidenreich (1967). Influence of controlled temperatures on growth rate and plasma ascorbic acid values in swine; Journal of Nutrition, Vol. 92; pp. 99-103.

73. G.L., Robertson; C.M.L., Samaniego (1986). Effect of initial dissolved oxygen levels of lemon on the degradation of ascorbic acid and the browning of lemon juice during storage; Journal of Food Science, Vol. 51, No. 1; pp. 184-187.
74. Kanner, Joseph; Budowski, Pierre (1978). Carotene oxidizing factors in red pepper fruits (Capsicum annuum L.): Effect of ascorbic acid and copper in a β -carotene-linoleic acid solid model; Journal of Food Science; Vol. 43; pp. 524-526.
75. Kanner, Joseph (1977). Prooxidant and antioxidant effects of ascorbic acid and metal salts in a β -carotene-linoleate model system; Journal of Food Science, Vol. 42; pp. 60-64.
76. D. Han; O.S., Yi; H.K., Shin (1990). Antioxidative effect of ascorbic acid solubilized in oils via reversed micelles; Journal of Food Science; Vol. 55, No. 1; pp. 247-249.
77. J.C., Deng; M., Watson; R.P., Bates; E., Schroeder (1978). Ascorbic acid as an antioxidant in fish flesh and its degradation; Journal of Food Science, Vol. 43; pp. 457-460.
78. Lemuel B., Wingard (1980). Enzyme Engineering future directions; Ed. Plenum Press; pp. 571-582.
79. L. Crackel, Rhonda; J.I., Gray; A.M., Booren; A.M., Pearson; D.J. Buckley (1988). Effect of antioxidants on lipid stability in restructured beef steaks; Journal of Food Science, Vol. 53, No. 2; pp. 656-657.
80. Ayres H., Gilbert (1970). Análisis Químico Cuantitativo; Ed. harla; pp. 376-416.
81. J.R., Vercellotti; Allen J., St Angelo; M. Spanier, Arthur (1992). Lipid Oxidation in Foods an Overview; Ed. American Chemical Society; pp. 121-139.
82. C.O., Chichester; B.S., Schweigert (1988). Advances in Food Research; Ed. Academic Press, Vol. 32; pp. 150-157.
83. T.F., Mann; J.O., Reagan; D.A., Lillard; D.R. Champion; C.E., Lyon; M.F.; Miller (1989): Effects of phosphate in combination with nitrite or Maillard reaction products upon warmed-over flavor in precooked, restructured beef chuck roasts; Journal of Food Science, Vol. 54, No. 6; pp. 1431-1433.

84. L. Catignani, George; M. Elaine, Carter (1982). Antioxidant properties of Lignin; Journal of Food Science, Vol. 47, No. 5; pp. 1733, 1748.
85. Y.B., Lee; Y.S., Kim; C.R., Ashmore (1986). Antioxidant property in ginger rhizome and its application to meat products; Journal of Food Science, Vol. 51, No. 1; pp. 20-23.
86. Fereidoon, Shaidi; Udana N., Wanasundara; Ryzard Amarowicz (1994). Natural antioxidants from lo pungency mustard flour; Food Research International, Vol. 27; pp. 489-493.
87. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (1995). La Industria Química en México; Ed. INEGI; pp. 1-181.
88. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (1995). Anuario Estadístico del Comercio Exterior de los Estados Unidos Mexicanos. Exportación (en miles de nuevos pesos); Ed. INEGI; pp. 41-126.
89. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (1995). Anuario Estadístico del Comercio Exterior de los Estados Unidos Mexicanos. Importación (en miles de nuevos pesos); Ed. INEGI; pp. 51.
90. Langseth, Lillian (1995). Oxidant, Antioxidants, and Disease Prevention; Ed. ILSI; pp. 1-24.
91. ILSI (1996) Antioxidant: Scientific Basis, Regulatory Aspects and Industry Perspectives; Ed. ILSI; pp. 1-27.
92. Valle Vega, Pedro (1991). Toxicología de Alimentos; Ed. ECO; pp. 59-61.
93. M. Lewis, K.J. Monthly (1961). A Mechanism for the copper-molybdenum interrelationship. Response of liver sulfite-oxidase activity to nutritional factor; The Journal of Nutrition, Vol. 74, No. 3; pp. 167-170.