



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE
SAN NICOLÁS DE HIDALGO



FACULTAD DE QUÍMICO FARMACOBIOLOGÍA

T E S I S

**"FRUTA CARAMBOLA. DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA
Y SOLAR. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE"**

**TESIS QUE PRESENTA
ABEL FUENTES AGUILAR**

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
QUÍMICO FARMACOBIOLOGO

DIRECTORES DE TESIS:

ASESOR: DC. JOSÉ OCTAVIO RODILES LÓPEZ

CO-ASESORA: MC. ROSA MARÍA GARCÍA MARTÍNEZ

Morelia, Michoacán, Junio de 2016.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres Eva y Abel por el apoyo incondicional que me han brindado, todo lo que tengo es gracias a ellos.

A mis hermanos Eder y Sinhue por ser parte importante de mi vida.

A mi tía Edith por su apoyo incondicional durante estos años.

A mis asesores de tesis.

Al D.C. José Octavio Rodiles López le agradezco la confianza, apoyo y dedicación de su tiempo en mi proyecto de tesis.

A la M.C Rosa María García Martínez por el apoyo que me brindó durante este periodo.

RESUMEN

La carambola (*Averrhoa carambola* L.) es un fruto considerado como exótico por su distintiva forma de estrella en la sección transversal, y su particular sabor y color, perteneciente a la familia de las oxalidáceas.

El objetivo del presente estudio fue evaluar la influencia de la deshidratación osmótica y seguida de un secado solar sobre los agentes antioxidantes de la carambola sometiendo las muestras a pruebas de vida de anaquel acelerada. Igualmente se hicieron estudios a nivel de análisis proximal.

Las técnicas empleadas en la fruta fueron la deshidratación osmótica y seguida de una deshidratación solar. La técnica osmótica consistió en someterla a un agente osmótico, sacarosa, y bajo las condiciones de proceso de 50°Brix, 53°C y 4 horas, y complementando con la deshidratación solar con una duración de 2 horas y una humedad final de 27.64%. La fruta después de las deshidrataciones fue sometida a una vida de anaquel acelerada a 55°C durante 12 días, y dando así a un periodo equivalente a 192 días a una temperatura de 25°C, es decir, 6.5 meses, bajo el concepto de Q10. Las muestras fueron empacadas en bolsas Ziploc® y se evaluó la presencia de los agentes antioxidantes con el método de Folin-Ciocalteu para la determinación de las catequinas.

Los resultados del análisis proximal nos indican que hay cambios significativos en la humedad de las mismas, lo cual es lógico porque la fruta fue tratada para disminuir su contenido de agua. Por otro lado, los resultados en base seca nos indican que hay un cambio notable en el aumento de carbohidratos entre la fruta fresca y la fruta tratada por deshidratación osmótica, pero justificado por el uso del azúcar como agente osmótico. La deshidratación osmótica genera una pérdida de fibra con respecto a la fruta fresca. No hay cambios significativos bromatológicamente durante las pruebas de vida de anaquel acelerada a 55°C por 12 días.

Se detectó la presencia de agentes antioxidante, catequinas, en la fruta carambola. Hay una disminución en la concentración de catequinas cuando la fruta fresca fue tratada osmóticamente, y una disminución entre la fruta tratada osmóticamente y la fruta secada solarmente. El procesamiento industrial disminuye la concentración de catequinas.

PALABRAS CLAVES: Catequinas, Deshidratación osmótica, deshidratación solar, Vida de anaquel acelerada, carambola, agente osmótico.

ABSTRACT

The carambola (carambola L.), also known as star fruit, is considered an exotic fruit due to its distinctive star shape when sliced across, for its particular taste and color, and for belonging to the Oxalidaceae family.

The purpose of this study was to evaluate the influence of osmotic dehydration followed by solar desiccating on the antioxidant agents and subjecting the samples to life tests of accelerated shelf life. In the same manner, studies were performed in the area of proximal analysis.

The techniques employed on the fruit were osmotic dehydration followed by solar desiccation. In the osmotic technique, the fruit was subjected to an osmotic agent, sucrose, and process conditions of 50°Brix, 53°C for 4 hours, and supplemented by solar desiccation for a duration of 2 hours and a final humidity content of 27.64%. After the dehydration process, the fruit was subjected to an accelerated shelf life at 55°C for 12 days, which resulted in the equivalent period of 192 days at a temperature of 25°C, 6.5 months, under the concept of Q10. The resulting samples were packed in Ziploc® bags and were evaluated for the presence of antioxidants with the Folin-Ciocalteu method to determine the existence of catechins.

The results of the proximal analysis indicate that there are significant changes in the humidity of the fruit, which is natural since it was treated to reduce its water content. On the other hand, the results on a dry basis indicate that there is a noticeable change in the increase of carbohydrates between fresh fruit and its counterpart treated with osmotic dehydration, but justified by the role of sugar as an osmotic agent. Osmotic dehydration results in a loss of fiber with respect to the fresh fruit. From a food inspection point of view, there were no significant changes during life tests in accelerated shelf life at 55°C for 12 days.

The study detected the presence of antioxidant agents, catechins, in the carambola fruit. There is a decrease in the concentration of catechins when fresh fruit was treated osmotically, and a decrease between the osmotically treated fruit and the solar desiccated fruit. Industrial processing decreases the concentration of catechins.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	1
1. FRUTA CARAMBOLA	2
1.1. TAXONOMÍA Y FISIOLOGÍA	3
1.2. BENEFICIOS DE LA CARAMBOLA	4
1.3. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL	4
2. CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS	7
2.1. actividad de agua	7
2.2. TECNOLOGÍAS TRADICIONALES	8
2.3. TECNOLOGÍAS EMERGENTES	14
3. DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA	15
3.1. VENTAJAS-DESVENTAJAS DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA	17
4. DESHIDRATACIÓN SOLAR	18
5. ANTIOXIDANTES	18
5.1. ESTRUCTURAS DE LOS COMPUESTOS FENÓLICOS	19
5.2. reacciones de oxidación	21
5.3. Origen de los Radicales Libres (RL)	22
5.4. ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE	24
5.5. dETERMINACIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS	25
6. VIDA DE ANAQUEL ACELERADA	29
7. análisis estadístico	31
II. JUSTIFICACIÓN	32
III. HIPÓTESIS	33
IV. OBJETIVOS	33
1. OBJETIVO GENERAL	33
2. OBJETIVOS PARTICULARES	33
V. MATERIAL Y MÉTODOS	34
1. MATERIALES	34

2. MÉTODOS.....	34
2.1. METODOLOGÍA GENERAL.....	35
2.2. ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL	36
2.3. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO.....	36
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
1. ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL DE LA CARAMBOLA.....	42
2. ANTIOXIDANTES	44
2.1. curva de calibración.....	44
2.2. PERDIDA DE HUMEDAD DURANTE vida de anaquel	45
2.3. CATEQUINAS por producto	46
2.4. catequinas entre productos	48
VII. conclusiones	51
VIII. BIBLIOGRAFÍA.....	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Frutas Propias de México.....	1
Tabla 2. Análisis Bromatológico. 100 g	5
Tabla 3. Minerales. 100 g.....	5
Tabla 4. Vitaminas. 100 g	5
Tabla 5. Congelación lenta y rápida. Ventajas y desventajas	10
Tabla 6. Análisis Bromatológico de la Carambola. Base Húmeda.	42
Tabla 7. Análisis Bromatológico de la Carambola. Base Seca.....	43
Tabla 8. Curva de Calibración.....	44
Tabla 9. Pérdida de Humedad. Vida de Anaquel Acelerada. 55°C.	45
Tabla 10. Catequinas por Producto (µg/L). Vida de Anaquel. 12 días a 55°C	46
Tabla 11. Catequinas por Producto. Vida de Anaquel Acelerada. 12 días a 55°C.....	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Carambola	3
Figura 2. Actividad de Agua	8

Figura 3. Equipos de deshidratación solar.	11
Figura 4. Solución Osmótica.	17
Figura 5. Fenol.....	20
Figura 6. Estructura básica de los flavonoides.....	20
Figura 7. Taninos (Polímeros de catequina)	21
Figura 8. Mitocondrias y Especies Reactivas de Oxígeno	22
Figura 9. Formula estructural de catequinas.....	23
Figura 10. Estructuras químicas de los flavan-3-oles.....	23
Figura 11. Estructura química de la (-)-epicatequina	24
Figura 12. Espectrofotómetro.....	26
Figura 13. Curva de calibración.	29
Figura 14. Metodología.	35
Figura 15. Proceso de deshidratación osmótica en la fruta carambola.....	38
Figura 16. Proceso de deshidratación solar en las muestras de carambola	39
Figura 17. Estufa.....	40
Figura 18. Curva de Calibración.....	45
Figura 19. Catequinas. Fruta Fresca. Vida de Anaquel Acelerada.	46
Figura 20. Catequinas. Fruta Osmótica. Vida de Anaquel Acelerada.	47
Figura 21. Catequinas. Fruta Solar. Vida de Anaquel Acelerada.	48
Figura 22. Catequinas. Día 1. Vida de Anaquel Acelerada.	49
Figura 23. Catequinas. Día 4. Vida de Anaquel Acelerada.	49
Figura 24. Catequinas. Día 8. Vida de Anaquel Acelerada	50
Figura 25. Catequinas. Día 12. Vida de Anaquel Acelerada.	50

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, las frutas son alimentos llamativos por su diversidad de colores y formas, pero además de lo que muestran a simple vista, forman parte de los alimentos con mayor cantidad de nutrientes y sustancias naturales altamente beneficiosas para la salud. Por otro lado, las frutas enfrentan todo tipo de condiciones meteorológicas y se defiende de las mismas gracias a las sustancias protectoras y antioxidantes naturales que poseen.

La carambola (*Averrhoa carambola L.*) es un fruto considerado como exótico por su distintiva forma de estrella en sección transversal, su particular sabor y su color. Estas características le han proporcionado un mercado potencial considerable para combinarse en ensaladas y bebidas, además de su consumo como fruto fresco y procesado.

Cuando hablamos de frutas exóticas entendemos por aquellas que no se han cultivado en Europa, pero que en sus países de origen son muy conocidas y consumidas. La fruta exótica no es una moda, sino una realidad que cada día adquiere más fuerza. Las frutas tropicales han comenzado recientemente a proliferar con gran variedad en los mercados occidentales siendo hasta ahora desconocidas para muchos. Estas frutas exóticas en algunos casos son completamente naturales y ecológicas.

La ubicación geográfica y la diversidad de climas con las que cuenta México le permite ser el país con mayor variedad de productos frescos y exóticos.

Tabla 1. Frutas Propias de México.

Nombre Común	Nombre Científico	Origen	Fruto
Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	México y América Central	El cacao es una fruta tropical con la que se produce el chocolate.
Aguacate	<i>Persea americana</i> <i>Persea gratissima</i> .	México	No se puede decir que el aguacate sea una fruta propiamente dicha, ya que no tiene apenas dulzor y se suele tomar en ensaladas, como si fuera una hortaliza.
Chicozapote	<i>Achras zapota</i>	México,	El fruto es una baya subglobosa de hasta 10 cm de

		América Central y Suramérica	diámetro y de color más o menos marrón, parecida a una ciruela
Tuna	<i>Opuntia ficus indica</i>	México	Es una drupa con numerosas semillas en su interior y con una piel dura repleta de espinas.
Papaya	<i>Carica papaya</i>	América Central y Sur de México	Baya ovoide-oblonga, piriforme o casi cilíndrica, grande, carnosa, jugosa, con ranuras longitudinalmente en su parte superior, y de color verde amarillento

1. FRUTA CARAMBOLA

La carambola (*Averrhoa carambola* L.) es una fruta tropical de origen incierto, pero se cree que proviene del suroeste de Asia, específicamente de Malasia e Indonesia. En América fue introducido a fines del siglo XVIII; actualmente se encuentra este cultivo en un gran número de países tales como: Australia, Francia, Tailandia, Indochina, China, Malasia, Brasil, República Dominicana, Venezuela, Colombia, Costa Rica, Estados Unidos, México, Haití, Colombia, Ecuador, y Argentina. En México, el cultivo comercial de esta especie existe desde hace más de 10 años, y principalmente en Morelos, Colima, Veracruz, Chiapas, Tabasco y Sinaloa.

El fruto es una baya de 8-12 cm., de largo elipsoidal y con cinco costillas o prominencias longitudinales. La piel de fruto es verdosa, y se tiñe de amarillo vivo en la madurez, además de ser dura, cerosa y brillante. Perteneciente a la familia de las Oxalidáceas la carambola es una fruta exótica muy cotizada en los mercados internacionales, aunque por su apariencia exterior es más conocida como “fruta estrella” o “star fruit”.

La pulpa es de color amarillo translucido y posee pocas semillas en el interior. Una fruta carambola puede pesar entre 100 y 200 g. La carambola tiene un sabor poco dulce y ácido, y con un toque amargo. Estas características le han proporcionado un mercado potencial considerable para combinarse en ensaladas y bebidas, además de su consumo en fresco y procesado (Cruz *et al.*, 2006).

1.1. TAXONOMÍA Y FISIOLÓGÍA

División: Angiosperma Clase: Dicotiledónea Orden: Cruinales Familia: Oxalidacea Género: *Averrhoa* Especie: Carambola. Nombre Científico: *Averrhoa carambola* L. Nombre común: Carambola, ciruela china. Otros nombres comunes: Tiriguro (Costa Rica); árbol de pepino, carambolera, carambolo, carambola (México); cornichón (Antillas); limas de cayena (Brasil y Portugal); cornichon (Francia); starfruit, karambola, bilimbí (E.U.A) (Orduz et al., 2002).

El fruto tiene una forma muy curiosa, ovalada, alargada, baya carnosa, y con cinco profundos ángulos que son quebradizos (en escasas ocasiones seis) que al cortarse da una forma de estrella. Su longitud varía entre 5 a 12 cm, y de 3 a 6 cm de ancho, y alcanza un peso de 100 a 200 gramos. Los bordes muy filosos son poco deseables, ya que se magullan con facilidad. La cutícula es lisa y parece plástica. La fruta contiene de 1 a 2 semillas o de 4 y 15 semillas pequeñas colgantes cerca de la base, en cada celda, planas y ovoides, y es de color pardo amarillo. Tiene una piel fina, lustrosa y comestible, de color entre verde o dorado y amarillo anaranjado cuando está madura. La pulpa es crujiente, de suave textura y amarilla vidriosa, de carne azucarada y ácida contiene azúcares reductores y fuente de vitaminas.



Figura 1. Carambola

1.2. BENEFICIOS DE LA CARAMBOLA

La carambola es una fruta rica en vitamina C. Esta vitamina es un antioxidante, y ayuda a prevenir algunos cánceres de órganos mucosas como el estómago, y disminuye el riesgo de padecer cataratas y otras enfermedades crónicas o degenerativas oculares. Junto a la acción del ácido fólico y de la fibra soluble ayuda a prevenir el estreñimiento crónico y el cáncer de colon (Palomar, 2006).

Contiene compuestos polifenólicos, como los taninos y la vitamina C, haciendo que la fruta obtenga una alta capacidad antioxidante. Cuando esta fruta es consumida permite bloquear y eliminar los radicales libres del ser humano, evitando el infarto, colesterol, cáncer al colon, el envejecimiento prematuro, el mal de Alzheimer, la arteriosclerosis, las enfermedades hepáticas, los problemas prostáticos y las enfermedades de pie.

Su alto contenido en fibra natural, ácido oxálico y sales nutritivas la hacen un fruto dietético que en China se consume para adelgazar; y en otras partes se le confiere bondades afrodisíacas. Las hojas y ramitas trituradas se utilizan como un remedio para las varicelas, lombrices y dolor de cabeza. Por su apariencia, propiedades nutritivas y aporte de sustancias de acción antioxidante, aliadas de nuestra salud, su consumo es muy recomendable para los niños, los jóvenes, los adultos, los deportistas, las mujeres embarazadas o madres lactantes y las personas mayores. Por su aporte de provitamina A y vitamina C, se recomienda su consumo a toda la población y, especialmente, a quienes tienen un mayor riesgo de sufrir carencias de dichas vitaminas.

Las vitaminas A y C, como antioxidantes, contribuyen a reducir el riesgo de múltiples enfermedades, entre ellas, las cardiovasculares, las degenerativas e incluso el cáncer. Su contenido de fibra soluble le confiere propiedades laxantes. Por su bajo contenido de hidratos de carbono y el aporte de sodio, resulta muy recomendable para quienes sufren de diabetes o hipertensión arterial o afecciones de vasos sanguíneos y corazón.

Su contenido alto en potasio en la fruta carambola es importante ya que varios estudios epidemiológicos han mostrado que el aumento de la ingesta de potasio se relaciona a un menor riesgo de enfermedades cardiovasculares.

1.3. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL

En la Tabla 1 se muestra la composición química de la carambola en estado maduro en base a 100 g de muestra. En las tablas 2 y 3 se presentan la distribución y cantidades

de vitaminas y minerales y su correspondiente ingesta diaria recomendada. Los datos corresponden a la USDA, 2015. (United States Department of Agriculture).

Tabla 2. Análisis Bromatológico. 100 g

	Cantidad
Humedad	91.38
Carbohidratos	3.93
Fibra	2.80
Lípidos	0.33
Proteínas	1.04
Cenizas	0.52

Tabla 3. Minerales. 100 g

	Fruta (mg)	IDR (mg)	% IDR
Calcio	3.0	800	0.4
Hierro	0.1	10	1.0
Magnesio	10.0	350	2.8
Potasio	133.0	190	70.0
Zinc	0.1	15	0.7
Fósforo	12.0	800	1.5
Sodio	2.0	500	0.4
Cobre	0.14	2	7.0
Manganeso	0.04	3	1.3
Selenio (µg)	0.6	50	1.2

Tabla 4. Vitaminas. 100 g

	Fruta (mg)	IDR (mg)	% IDR
C. Ácido Ascórbico.	34.4	45	76.4
B1. Tiamina	0.01	1	1.0
B2. Riboflavina	0.01	2	0.5
B3. Niacina	0.37	16	2.3
B6. Piridoxina	0.02	2	1.0

B9. Ácido Fólico (µg)	12.0	400	3.0
A. Retinol (µg)	3.0	3	100.0
E. Tocoferol	0.02	15	0.1
B5. Ácido Pantoténico	0.39	5	7.8

Los minerales presentes en la carambola superiores del 5 % del IDR son potasio y cobre, y las vitaminas son ácido ascórbico, retinol y ácido pantoténico.

El potasio es muy importante ya que es el principal catión intracelular y ayuda al control de la presión osmótica; así mismo es un regulador del pH celular; potencia la actividad del riñón; ayuda al ritmo cardíaco adecuado; y la presión arterial normal. Un déficit del mineral puede provocar la muerte. El cobre es cofactor en la síntesis de hemoglobina y favorece la absorción y transporte de hierro. Ayuda a la formación de huesos y es un constituyente del tejido cerebral. Su ausencia provoca pérdida en el color del cabello, anemia, anorexia, diarrea y dermatitis.

La vitamina C, ácido ascórbico, nos ayuda a la formación de huesos, dentina, cartílagos, y paredes capilares sanguíneas. Reduce el colesterol; mejora la cicatrización de heridas, y alivio de encías sangrantes; reducción de alergias, y prevención del resfriado común y escorbuto. El retinol forma el pigmento visual rodopsina y mejora la visión nocturna. Ayuda al transporte y depósito de calcio. Protección contra infecciones respiratorias. Antioxidante. Mejora la estructura ósea, dental y nerviosa. Su ausencia genera ceguera nocturna y xeroftalmia. El ácido pantoténico es esencial en la síntesis de colesterol y glóbulos rojos. Ayuda a la síntesis de anticuerpos, formación de células, y en el crecimiento y desarrollo del sistema nervioso. Contribuye a cicatrizar las heridas y previene la fatiga. Su ausencia provoca depresiones y baja resistencia a las infecciones.

La carambola como vemos es rica en vitaminas y minerales ya que estimulan el funcionamiento del sistema inmunitario, favorecen el crecimiento y el desarrollo normales y ayudan a las células y a los órganos a desempeñar sus respectivas funciones. Ingerir esta fruta podemos obtener una gran parte de las vitaminas y minerales que se necesita cada día.

2. CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS

La conservación de los alimentos ha sido una actividad importante para la humanidad, ya que las civilizaciones antiguas ya la llevaban a cabo, usando métodos basados en el calentamiento, el salado, la fermentación, y el secado (Badui, 2011).

Los procesos de conservación de los alimentos son aplicados hoy día en el ámbito de la industria alimentaria y que tienen como objetivo principal evitar el deterioro de la calidad de los alimentos elaborados durante los periodos de almacenamiento. Esta calidad se suele valorar en términos nutricionales, sensoriales y de seguridad o salud pública. Cuando una materia prima alimenticia, más o menos perecedera, no puede ser utilizada de inmediato necesita de un tratamiento adecuado para evitar el riesgo de sufrir alteraciones físicas, químicas o biológicas. Cada uno de estos procesos pueden originar en el alimento modificaciones (Bello, 2000)

Los alimentos deben someterse a un proceso de conservación, porque de lo contrario se reduce su calidad y vida útil. El cambio y deterioro de los alimentos puede ser sensorial, químico, físico, microbiológico, enzimático y biológico (Badui, 2011)

Hoy en día se habla de métodos tradicionales y emergentes en la conservación de los alimentos. Los primeros son los que se han venido usando a través de los años, y los segundos los que se han desarrollado en los últimos años

2.1. ACTIVIDAD DE AGUA

Las propiedades de un alimento dependen de su contenido de agua, ya que influye definitivamente en las reacciones físicas, químicas, enzimáticas y microbiológicas. Conocerla puede predecir la estabilidad y la vida útil de un producto (Badui, 2011)

La actividad del agua es la relación entre la presión de vapor del aire alrededor de un alimento (P) y la presión de vapor del agua pura (P_o), ambos permaneciendo a una misma temperatura. Normalmente se expresa con las siglas A_w , Activity Water en inglés. Una definición más sencilla sería la cantidad de agua libre que hay en un alimento, es decir, la cantidad de agua disponible para reaccionar químicamente con otras sustancias y provocar el crecimiento microbiano.

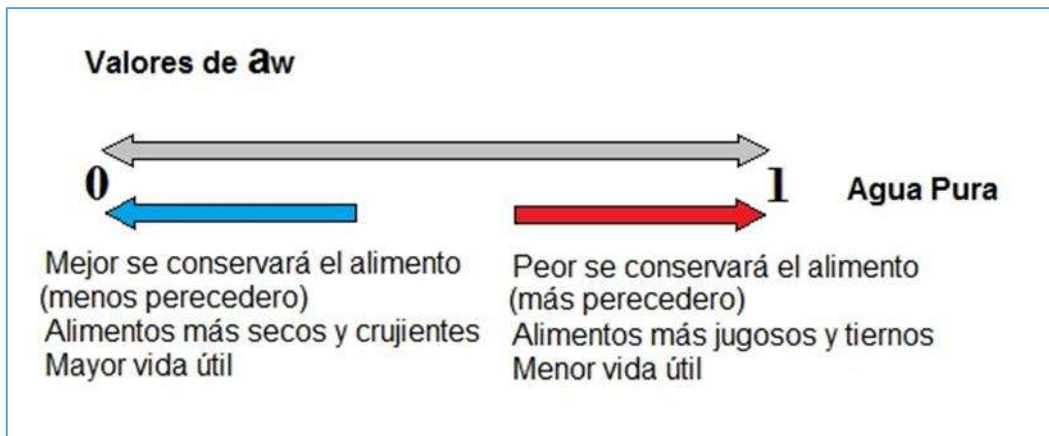


Figura 2. Actividad de Agua

2.2. TECNOLOGÍAS TRADICIONALES

Las tecnologías tradicionales de alimentos existen desde que hace unos 14,000 años y se dan cuando el hombre abandonó sus hábitos nómadas, y se hizo sedentario y empezó a utilizar la agricultura y la ganadería para producir alimentos.

Los primeros agricultores en el Oriente Próximo cultivaron trigo, cebada y posiblemente centeno. Cabras y ovejas les proporcionaban leche, queso, mantequilla y carne. Los sumerios, hace unos 7,000 años, ya utilizaban una biotecnología algo más desarrollada y producían alimentos fermentados como vino, cerveza, pan, yogur o queso. Rápidamente surgió la necesidad de conservar los alimentos para poder consumirlos en los momentos de escasez, desarrollándose tecnologías de conservación como el uso de la sal, el frío, el secado, el ahumado o la fermentación. La obtención de alimentos a partir de plantas, animales o microorganismos se ha llevado a cabo de manera espontánea mediante procesos que podrían denominarse de biotecnología tradicional.

2.2.1. REFRIGERACIÓN Y CONGELACIÓN

Los tres mecanismos de deterioro de los alimentos: contaminación microbiana, enzimas endógenas y reacciones químicas, se inhiben a bajas temperaturas; en general, sus valores de Q10 son de 2, lo que significa que una disminución de 10°C reduce su velocidad al 50%. Así, un producto que de 20°C pasa a -20°C experimenta cuatro ciclos de 10°C,

equivalentes a una disminución de reacción del 94% en cualquiera de estos tres mecanismos. Un efecto de las bajas temperaturas es que abaten la presión de vapor del agua y con ello la actividad de agua.

A. REFRIGERACIÓN

Para refrigerar los alimentos por lo general se utilizan sistemas mecánicos de producción de frío, mientras que en la congelación se pueden usar los mismos o bien refrigerantes líquidos (Badui, 2011).

En la refrigeración no se forma hielo, el agua permanece líquida y si el tiempo de almacenamiento no es muy largo, no se afecta el sabor ni la textura o el valor nutrimental. A 4°C, la vida útil de un producto depende de su pH, actividad de agua, composición química y contaminación microbiana; los alimentos ácidos y de baja humedad se conservan por muchos meses, mientras que los no ácidos y de alta humedad como leche, carnes y pescado, sólo algunos días. Los microorganismos siguen reproduciéndose, aunque a menor velocidad, pero llegan a cifras de millones por gramo, lo que provoca el deterioro del alimento; por ello la vida de los productos frescos refrigerados siempre es corta e inferior a la de los congelados (Badui, 2011).

B. CONGELACIÓN

La congelación es una operación unitaria que reduce la temperatura del alimento por debajo de su punto de congelación, por lo que una proporción elevada del agua que contiene cambia de estado, formando cristales de hielo (80%). Un alimento congelado mantiene casi inalterables por mucho tiempo las características originales debido a que las bajas temperaturas inhiben la actividad microbiana, hacen más lentas las reacciones bioquímicas y reduce la actividad de agua (Garda, 2006).

La Congelación Lenta es realizada en sistemas tradicionales, y se caracteriza porque se forman grandes cristales de hielo al congelarse el agua, y provocando la ruptura de la estructura celular (Garda, 2006).

En la congelación rápida se generan muchos cristales pequeños a lo largo de las fibras de los tejidos que no altera la estructura celular de carnes y verduras; esto permite que; una vez descongeladas, retengan su agua y en consecuencia su textura. Se usa en los helados para formar micro-cristales imperceptibles en la boca y conservar la tersura, y también en masas de panificación, pescados y muchos otros alimentos. (Badui. 2011).

Tabla 5. Congelación lenta y rápida. Ventajas y desventajas

Congelación Lenta		Congelación Rápida	
Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas
▪ En otros productos que no requieren cuidado de la textura, no se justifica el gasto de una congelación rápida	▪ La congelación lenta puede dañar los productos alimenticios porque el proceso destruye sus células. ▪ Cuanto más largo es el tiempo de congelación, mayor es la destrucción de las células. ▪ Al rehidratarse presenta textura y sabor diferente al original. ▪ Apariencia oscura del producto seco	▪ La congelación rápida significa mayor velocidad de producción. ▪ La célula permanece intacta y que el alimento conserva su frescor, sabor y textura –como si no hubiera sido congelado. ▪ La estructura de las células orgánicas permanece prácticamente inalterada. ▪ Mayor calidad del producto que con refrigeración lenta. ▪ Menor deshidratación, mayor rendimiento.	▪ Gastos de congelación rápida ya que no es barata a comparación de la lenta.

2.2.2. DESHIDRATACIÓN

A. SECADO SOLAR

Uno de los métodos más tradicionales es el uso de la energía solar. Se sabe que la mayoría de las bacterias patógenas no resisten la desecación del alimento, pero sus formas esporuladas sí pueden ofrecer resistencia. Por ello, todavía se sigue utilizando este aprovechamiento del calor del sol para secado de los alimentos, en un principio reservado a carnes y pescados, y extendido posteriormente a diversos tipos de frutas (Bello, 2000).

B. EQUIPOS DE DESHIDRATACIÓN SOLAR.

Cualquier sistema o equipo de deshidratación solar consta de dos elementos básicos que se diseñan de acuerdo al equipo de secado que se pretenda lograr y la naturaleza del producto:

- Colector, donde la radiación solar calienta el aire mediante efecto invernadero.
- Cámara de secado, que es la zona donde se coloca los alimentos para ser deshidratados por el aire caliente que produce el colector.



Figura 3. Equipos de deshidratación solar.

C. SECADO

El secado de alimentos es la extracción liberada de agua, y que contiene operaciones que se lleva a cabo en la mayoría de los casos evaporando el agua por adición de calor latente de evaporación. Por lo tanto, en la operación básica de secado interviene dos factores importantes. Trasmisión de calor, para suministrar el calor latente de evaporación necesaria y el movimiento del agua o del vapor de agua a través del producto alimenticio y separación del mismo.

El Calor latente de vaporización es la cantidad de energía necesaria para evaporar 1 kg de agua en estado líquido y el calor de sublimación es la energía necesaria para evaporar 1 kg de agua en estado sólido. La energía térmica necesaria para vaporizar agua en cualquier estado puede calcularse por medio de los calores latentes.

Secado es un método de conservación industrial que se utiliza para reducir el contenido o actividad de agua de los alimentos por contacto con aire caliente, con la finalidad de minimizar su deterioro bioquímico, químico o microbiológico. Aunque el principal objetivo de la deshidratación o secado de los productos alimenticios es la reducción de su contenido de humedad a un nivel que permita su conservación segura durante largos periodos de almacenamiento, otras de las grandes ventajas del empleo de dicha tecnología es la gran funcionalidad de los productos generados mediante su aplicación. (Ulloa, 2011).

D. LIOFILIZACIÓN

La liofilización es un proceso mediante sublimación utilizando con el fin de reducir las pérdidas de los componentes volátiles o termo sensibles. Durante este proceso, se dan dos subprocesos: la congelación del alimento y la remoción del agua del mismo mediante un proceso conocido como sublimación. El alimento es congelado a una temperatura cercana a -20°C , luego de lo cual es colocado en bandejas dentro de una cámara de refrigeración al vacío, donde se aplicará calor de manera controlada. Como resultado el agua del alimento es convertida directamente de su estado sólido a vapor de agua sin haber pasado previamente por el estado líquido (Cuéllar, 2008).

No se emplean altas temperaturas, y por ello no se afectan las vitaminas termo sensibles, además de que las proteínas y los carbohidratos conservan intactos sus grupos hidrófilos y su capacidad de hidratación; la porosidad se mantiene igual que la capilaridad del tejido vegetal o animal, y con ello se asegura un producto muy rehidratable. Debido a su alto costo se emplean en productos caros como café, carne de pollo, algunos vegetales, probióticos y bacterias industriales. La liofilización se utiliza en la gastronomía molecular para lograr estructuras poco convencionales como las espumas de vegetales y hasta las frutas enteras con alta porosidad y crujientes (Badui, 2011).

2.2.3. REDUCCIÓN DE OXÍGENO

La reducción de la disponibilidad de oxígeno es el modo más satisfactorio de inhibir el pardeamiento enzimático y que consiste en la eliminación total del oxígeno. Esto puede

obtenerse por desoxigenación al vacío, borboteo de nitrógeno o apelando a la acción combinada de las enzimas glucosa oxidasa y la catalasa. Sin embargo, es importante considerar que el oxígeno es un requisito de los tejidos vivos.

En el caso de sólidos, como las porciones de frutas y hortalizas, la eliminación del oxígeno más sencilla es por inmersión en soluciones como jarabe, salmueras o agua para retardar la difusión del oxígeno. (Garda, 2006)

2.2.4. MÉTODOS DE FUNDAMENTO QUÍMICO

La existencia de compuestos químicos que poseen propiedades conservadoras ha llevado al desarrollo y aplicación de métodos adecuados para la conservación de alimentos (Pérez- Cabrera, 2003).

A. SAL

Se le denomina salazón al método de agregar sal a los alimentos para su conservación, de forma que se encuentren disponibles para el consumo durante un mayor tiempo. El efecto de la salazón es la deshidratación parcial de los alimentos, el refuerzo del sabor y la inhibición de algunas bacterias. Existe la posibilidad de salar frutas y vegetales, aunque lo frecuente es aplicar el método en alimentos tales como carnes y pescado (Cuéllar, 2008).

B. AHUMADO

Este sistema era conocido por los aztecas y los egipcios, e implica la quema de maderas duras de poca resina como nogal o abedul, en una cámara cerrada para generar el humo que se adhiere al jamón, chorizo, chuletas, salami, quesos, etc. En México y de forma más rústica, los chipotles (en náhuatl significa “chile ahumado”) se producen con el ahumado de los chiles jalapeños. El efecto conservador de este proceso se basa en la acción del humo, pero también en la alta temperatura y la sal añadida a los productos (Badui, 2011).

Ahumar consiste en someter a los alimentos a la acción de productos volátiles procedentes de la combustión incompleta de virutas o de aserrín de maderas duras de primer uso, pudiendo mezclarse en distintas proporciones con plantas aromáticas inofensivas. El poder conservador se debe a la deshidratación y a la acidificación del alimento (Cuéllar, 2008).

C. CONSERVADORES QUÍMICOS

Estas son sustancias o mezcla de sustancias añadidas a los alimentos, generalmente en pequeñas cantidades, en el momento de su producción, procesamiento, almacenamiento, empaquetado o preparación para el consumo, con objeto de modificar las propiedades de los mismos (apariencia, sabor, textura o conservación). (Hernández, 2010).

Un conservador químico es una sustancia o mezcla de sustancias que previene, retarda o detiene la fermentación, el enmohecimiento, la putrefacción, acidificación u otra alteración de los productos causados por algunos microorganismos y por algunas enzimas.

Los conservadores es un grupo muy importante de aditivos cuya finalidad es prevenir el crecimiento de hongos, levaduras y bacterias. No cualquiera de ellos es adecuado para todos los alimentos, por lo que hay métodos para medir su efectividad, algunos tienen un espectro muy amplio de acción, mientras que otros son específicamente efectivos contra un determinado tipo de microorganismo. Los factores más importantes a considerar son la composición del alimento, el pH, la fuerza iónica, y la actividad de agua.

En la categoría de conservadores destacan los ácidos benzoicos, sórbico, acético y propiónico y sus sales, los parabenos, los sulfitos, los nitritos y los nitratos, el piro carbonato de etilo y los epóxidos. (Badui, 2006).

2.3. TECNOLOGÍAS EMERGENTES

La aplicación de nuevas tecnologías en el ámbito de la conservación de alimentos pretende dar respuesta al incremento de la demanda, por parte de los consumidores, de alimentos con aromas más parecidos a los frescos o naturales, más nutritivos y fáciles de manipular. Algunas de ellas todavía en fase experimental.

Estas tecnologías se apoyan en fundamentos bien diversos, tales como la aplicación de radiaciones ionizantes (irradiación), presiones elevadas (presurización), y por otros efectos físicos, todavía sin nombre propio para el tratamiento de los alimentos: campos eléctricos pulsantes de alta intensidad, campos magnéticos oscilantes, pulsos luminosos, etc. (Bello, 2000).

Las tecnologías más estudiadas en la actualidad se basan en el empleo de sistemas de destrucción o inactivación bacteriana sin necesidad de emplear un tratamiento térmico intenso, como las Altas Presiones Hidrostáticas (HHP, son sus siglas inglesas), y el

Campo Eléctrico Pulsado (PEF), así como todos aquellos sistemas de envasado y modificación de la atmósfera gaseosa y otras varias.

Las técnicas de inactivación microbiana han sido las más estudiadas, especialmente en la última década. Algunas de las más destacadas son la radiación ionizante, HHP, PEF, homogeneización por alta presión, descontaminación por radiación ultravioleta, láser de alta intensidad, ultrasonidos o los campos magnéticos. De entre ellos, han tenido especial fortuna la alta presión y el campo eléctrico pulsado, ya que no requieren la aplicación de calor, son tratamientos relativamente económicos, especialmente cuando se puede trabajar en continuo y con volúmenes adecuados de producto, y no producen problemas de residuos peligrosos.

2.3.1. ALTA PRESIÓN HIDROSTÁTICA

Algunas técnicas permiten incrementar la vida comercial de productos frescos después de su elaboración. La técnica de alta presión hidrostática (HHP) se basa en el tratamiento de un producto por encima de 100 MPa, una elevada presión, que consigue afectar, especialmente, a las membranas celulares y a la estructura de algunas proteínas sensibles. La consecuencia es que se puede limitar el desarrollo microbiano y eliminar una parte significativa de las bacterias presentes en el producto.

2.3.2. CAMPO ELÉCTRICO PULSADO

La tecnología basada en el campo eléctrico pulsado (PEF, en sus siglas inglesas) es también un tratamiento en el que no se produce un calentamiento de los alimentos y busca inactivar grandes cantidades de microorganismos. Esto implica una reducción de la actividad biológica en el producto con el consiguiente incremento en la vida comercial del producto (Devlieghere *et al.*, 2004).

3. DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

La deshidratación osmótica es una técnica que permite eliminar parcialmente el agua de los tejidos de los alimentos por inmersión en una solución hipertónica, sin dañar el alimento y afectar su calidad.

Un producto deshidratado es el que no contiene más de 2.5% de agua, mientras que el alimento seco es todo producto alimenticio que ha sido expuesto a un proceso de eliminación del agua y que contiene más de 2.5% de agua.

(Cañizares, Bonafineosmileth, & Laverde, 2006).

La ósmosis es un fenómeno en el que se produce el paso o difusión de un disolvente a través de una membrana semipermeable (permite el paso de disolvente, pero no de solutos) desde la solución más diluida a la más concentrada.

Los medios acuosos separados por una membrana semipermeable pueden tener diferentes concentraciones, y se denominan:

- Hipertónicos. Los que poseen una elevada concentración de solutos con respecto a otros en los que la concentración es inferior.
- Hipotónicos. Los que contienen una concentración de solutos baja con respecto a otros que la poseen superior.

Cuando el medio externo celular es hipotónico respecto al medio interno, se produce entrada de agua al interior de la célula, lo que ocasiona aumento de volumen celular y disminución de la presión osmótica en el interior celular. En el caso de las células animales puede producirse estallido celular. En las vegetales, debido a la existencia de pared celular rígida, se produce turgencia. Por otro lado, cuando el medio externo es hipertónico con respecto al interno, el agua del alimento sale del mismo y se produce un fenómeno de deshidratación (Cambell *et al.*, 2007).

La deshidratación osmótica de alimentos incluye dos tipos de transferencia de masa: la difusión del agua del alimento a la solución y la difusión de solutos de la solución al alimento. En el primer tipo, la fuerza conductora de la transferencia de masa es la diferencia de presión osmótica, mientras en la segunda es la diferencia de concentraciones (Barbosa & Vega, 2000).

La pérdida de agua durante la deshidratación osmótica se puede dividir en dos períodos: (1) un periodo inicial de 2 h con alta tasa de eliminación de agua y (2) un periodo que varía de 2 a 6 h con una disminución de la tasa de eliminación de agua.

La velocidad inicial de la pérdida de agua no es sensible a la circulación de la solución osmótica. El escaldado afecta a la fase inicial de la deshidratación osmótica, aunque la pérdida de agua final no es muy diferente de la de la producción sin escaldar. La temperatura y la concentración de la solución osmótica afectan la tasa de pérdida de agua. En comparación con secado al aire o secado por congelación, la deshidratación osmótica es más rápida porque la eliminación del agua se produce sin un cambio de fase (Barbosa & Vega, 2000)

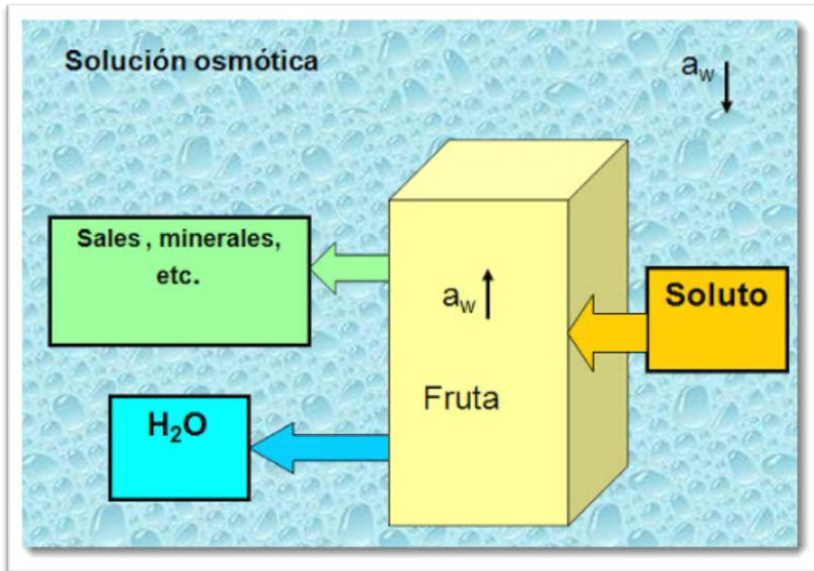


Figura 4. Solución Osmótica.

3.1. VENTAJAS-DESVENTAJAS DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

VENTAJAS:

- ✓ Prácticamente no se afecta el color, el sabor, el aroma y la textura del alimento.
- ✓ Se puede trabajar con pequeños volúmenes de producto.
- ✓ Produce un daño mínimo en la estructura del alimento deshidratado, ya que no debe someterse a altas temperaturas como en otros tratamientos térmicos como es el caso del secado conectivo.
- ✓ Mejora la estabilidad del producto. La actividad de agua del alimento disminuye de tal modo que inhibe parcialmente el crecimiento microbiano y extiende la vida útil del alimento.
- ✓ Se retienen la mayoría de los nutrientes (Della, 2009).

DESVENTAJAS:

- Puede modificar propiedades organolépticas del fruto
- Disminución de calidad del fruto
- Disminución de cantidad de nutrientes básicos
- Cambia características sensoriales del producto

4. DESHIDRATACIÓN SOLAR

La deshidratación natural o secado al sol es muy antigua. La deshidratación solar de frutos, por ejemplo, data de milenios antes de Cristo. Diversos grupos humanos antiguos conservaban granos, frutos, hongos y levaduras por desecación al sol.

En la industria alimentaria actual, la deshidratación se efectúa mediante equipos especializados que hacen circular aire sobre el alimento, o a través de él, a una temperatura y una humedad variables y que dependen de las condiciones climáticas (Marín, 2002).

El deshidratado es una operación unitaria importante en muchas industrias alimenticias, en la que se busca la preservación de los alimentos. Esto se logra mediante la eliminación del agua contenida en ellos, y de esta forma se inhibe el crecimiento de microorganismos, reduce o detiene las reacciones químicas del propio alimento, así como la actividad enzimática. Reduce el volumen del producto en un 50% y el peso del mismo un 80%, haciendo más fácil su transportación y manejo (Gasga, 2014).

La deshidratación por medio de la energía solar es el sistema más antiguo y sencillo de emplear que cumple con las condiciones actuales del mercado: ahorro de energía, protección del medio ambiente y de fácil manejo.

La forma más sencilla es extender el producto al aire libre, exponiéndolo a la radiación solar como los secadores para grano de café. La gran ventaja son los reducidos costos (CORPOICA, 2006)

5. ANTIOXIDANTES

Los antioxidantes son moléculas que tienen la propiedad de evitar o prevenir la oxidación de otras moléculas. Se produce una oxidación siempre que una especie cede electrones a otra, la especie que gana electrones se reduce, y la que pierde se oxida. En estas reacciones de oxidación, a veces, se pueden producir radicales libres, especies muy oxidativas y que pueden producir daños al organismo.

Los antioxidantes son especies que acaban estas reacciones, inhibiendo algún producto intermedio y oxidándose los mismos. Las células, como parte de su propio metabolismo, producen radicales libres y especies reactivas del oxígeno (ROS). Estos radicales libres, son bloqueados por un complejo sistema antioxidante de enzimas como la catalasa, superóxido dismutasa, glutatión peroxidasa y un continuo de antioxidantes no enzimáticos, como las vitaminas A, E y C, glutatión, ubiquinona o flavonoides.

Si se produce un desequilibrio entre los prooxidantes y los antioxidantes, se llega a un estado de estrés oxidativo, que puede ser producido por una excesiva producción de radicales libres. Los seres vivos, tienen un complejo sistema, para hacer frente a esta oxidación, y en especial, los vegetales, por estar expuestos a la radiación solar. Ciertas sustancias, llamadas antioxidantes, desde vitaminas hasta polifenoles, bloquean la acción de estos radicales libres (Almajano, 2009).

Los polifenoles son un conjunto heterogéneo de moléculas que comparten la característica de poseer en su estructura varios grupos bencénicos sustituidos por funciones hidrofílicas. Se encuentran en muchas plantas, algunas de uso común y por sus propiedades antioxidantes merecen mayor atención (Hernández, 1999)

Los fenoles tienen la capacidad de atrapar especies reactivas de oxígeno debido a su propiedad como donadores de electrones. La efectividad de su capacidad antioxidante va a depender de su estabilidad en los diferentes sistemas, así como también del número y localización de grupos hidroxilo, que rompen el ciclo de generación de nuevos radicales libres, anticipando las reacciones de terminación actuando como un anti-radical (Robles et al, 2007).

Constituyen una de las principales clases de metabolitos secundarios de los vegetales, donde tienen diversas funciones fisiológicas. Entre otros, intervienen en el crecimiento y reproducción de las plantas y en los procesos defensivos, (patógenos, depredadores, incluso contra radiación ultravioleta).

Los compuestos fenólicos comprenden desde moléculas simples como los ácidos benzoicos hasta polímeros complejos como las ligninas. Los compuestos fenólicos están presentes en todo el reino vegetal y sus cantidades y tipos varían en función de la especie, variedad y parte del vegetal (frutas, semillas, hojas), y considerado horas de exposición solar, grado de maduración, condiciones de cultivo, etc. (Muñoz et al, 2007)

5.1. ESTRUCTURAS DE LOS COMPUESTOS FENÓLICOS

El término fenoles comprende aproximadamente 8000 compuestos que aparecen en la naturaleza. Todos ellos poseen una estructura común: un anillo fenol -un anillo aromático que lleva al menos un sustituyente hidroxilo.

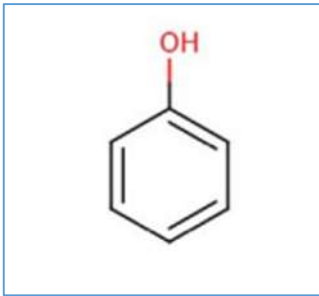


Figura 5. Fenol

Los flavonoides son los polifenoles que poseen al menos 2 subunidades fenólicas; los compuestos que tienen 3 o más subunidades fenólicas se denominan taninos. (Robbins, 2003)

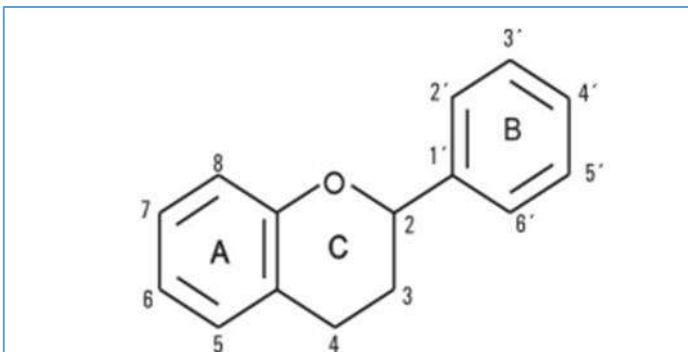


Figura 6. Estructura básica de los flavonoides

Los flavonoides son derivados fenólicos sintetizados en cantidades substanciales por las plantas. Comprenden alrededor de 4000 compuestos identificados, y son derivados hidroxilados, metoxilados y/o glicosilados del 2 fenil benzo pirano, que consiste en dos anillos benceno combinados por mediación del oxígeno contenido en el anillo 12 pirano. Estos compuestos poseen actividad antioxidante y capacidad para capturar radicales libres.

Los taninos o polifenoles poliméricos tienen mayor actividad antioxidante que los fenoles monoméricos simples (Hagerman et al, 1998)

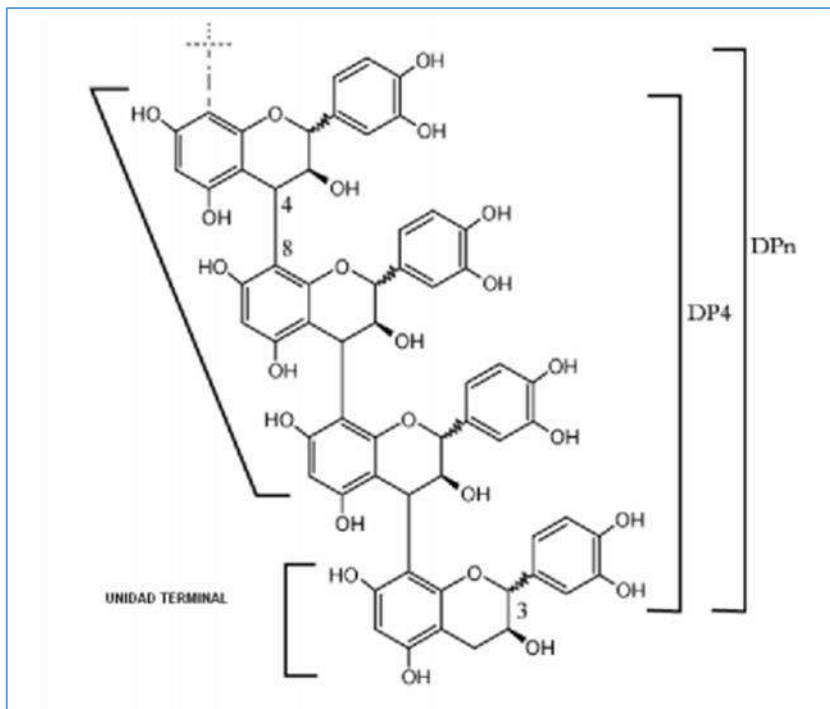


Figura 7. Taninos (Polímeros de catequina)

5.2. REACCIONES DE OXIDACIÓN

Durante la fosforilación oxidativa, existe un flujo de electrones (e^-) a través de los complejos de la cadena respiratoria en la membrana mitocondrial interna (MMI) (del I al IV), y en donde el oxígeno molecular es el último aceptor de electrones, dando como resultado la producción de agua y la obtención de energía con la formación de ATP.

Durante su viaje a través de la cadena respiratoria, algunos electrones pueden escapar de los diversos complejos que forman la cadena y reducir el oxígeno molecular dando lugar a la formación del superóxido (O_2^-); éste, mediante la acción de la enzima superóxido dismutasa (SOD) da origen al peróxido de hidrógeno (H_2O_2), que también puede ser formado mediante la acción del mono amina oxidasa (MAO), enzima que se encuentra en la membrana mitocondrial externa (MME). El H_2O_2 puede ser inactivado mediante la acción de la enzima catalasa o mediante la actividad de la glutatión, o bien al encontrarse en presencia de metales de transición como el hierro, y dar lugar a la reacción de Fenton para formar el RL más reactivo y más dañino: el radical oxidrilo ($OH^\cdot$), responsable de la mayoría de los daños celulares causados por los RL, cuando éstos logran escapar del

espacio intermembranal (EI) de la mitocondria al citosol (CIT) o a la matriz mitocondrial (MMT). (Delgado et al, 2010).

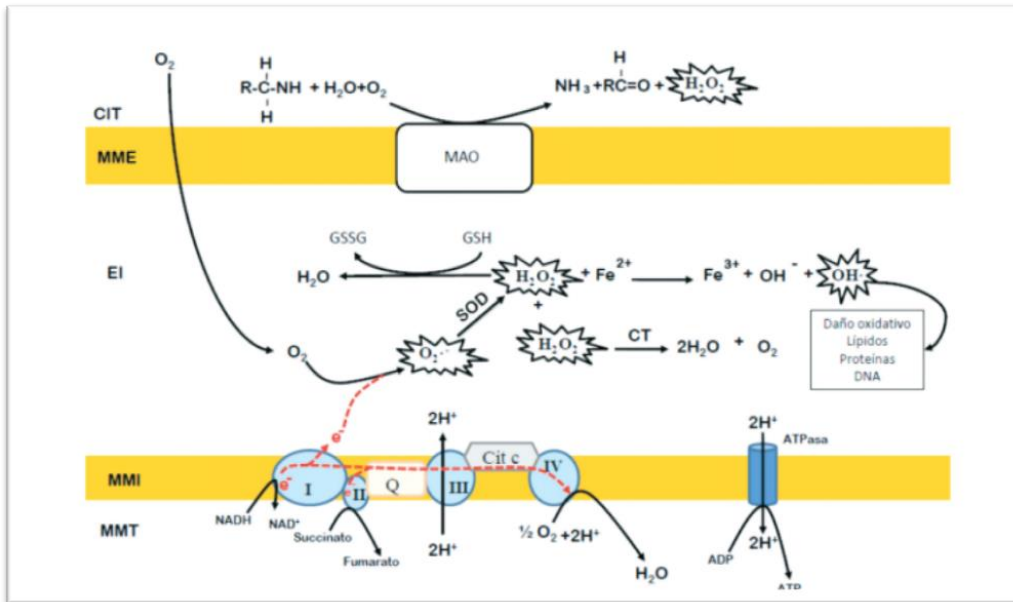


Figura 8. Mitocondrias y Especies Reactivas de Oxígeno

5.3. ORIGEN DE LOS RADICALES LIBRES (RL)

El origen de los Radicales Libres (RL) se producen normal y continuamente durante el metabolismo celular, que se llevan a cabo principalmente en la mitocondria, por las diversas reacciones redox, realizadas por enzimas como la NADPH oxidasa, lipoxigenasas, cicloxigenasas y peroxidasas. (Adamvizi, 2005).

Los RL endógenos son producidos normalmente en el organismo y juegan un importante papel en su defensa del mismo contra infecciones por bacterias y virus. También, participan en procesos como la maduración de los reticulocitos y degradación de proteínas. (Benezzer, et al. 2008)

5.3.1. CATEQUINAS

A. FLAVANOLES

Dentro de éstos se agrupan las catequinas, compuestos hidrosolubles sin color, que imparten amargor y astringencia a las infusiones de té verde. Cuando las catequinas se oxidan se forman polímeros conocidos como teaflavinas y tearrubiginas. Así mismo, las catequinas se oxidan totalmente durante el proceso de fermentación del té. (Staszewski, 2011).

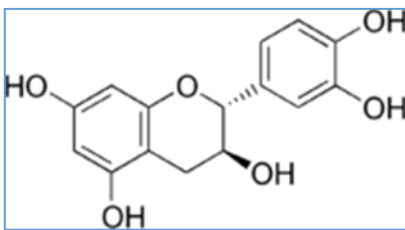


Figura 9. Formula estructural de catequinas

Los flavanoles representan una compleja familia compuesta por las diferentes formas isoméricas de las catequinas y sus polímeros (Cheynier et al, 2000)

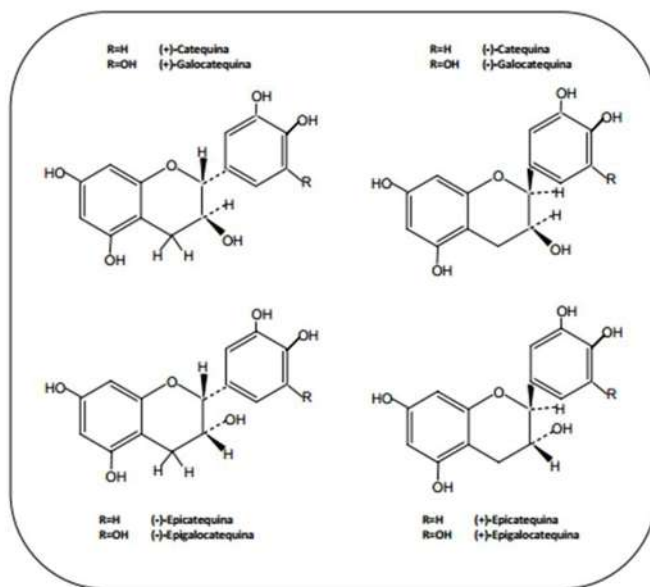


Figura 10. Estructuras químicas de los flavan-3-oles

La estructura básica de la catequina presenta dos carbonos isométricos por lo que existe 4 isoméricas: (+) / (-) catequina y epicatequina. Además, el anillo aromático externo puede presentar un tercer grupo OH, dando lugar a las correspondientes (+) / (-) galocatequina y epigalocatequina. Por otras para el grupo OH en posición 3 del heterociclo, puede estar esterificado con una molécula de ácido gálico, por lo que también se puede incluir el 3-galato de: (+) / (-) (galo) catequina y epi (galo) catequina.

Dentro de los flavanoles, los monómeros más importantes que se encuentran son las catequinas o flavan-3-oles, y entre los productos poliméricos, las procianidinas (58%). La principal catequina es la (-) epicatequina, que supone aproximadamente el 35% del total de los polifenoles. (Wollgast, 2000).

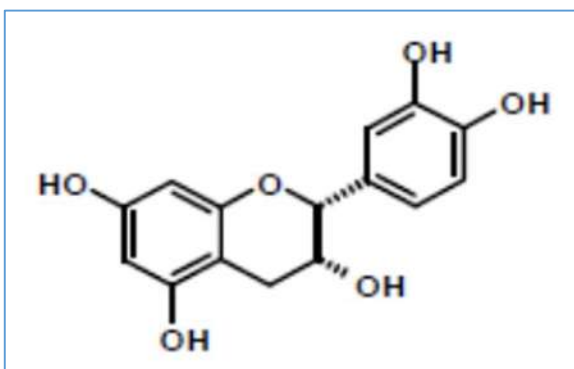


Figura 11. Estructura química de la (-)-epicatequina

Las catequinas y procianidinas aisladas tienen fuertes propiedades antioxidante y tienen efectos beneficiosos para la salud, ya que protegen contra el estrés oxidativo y la inflamación crónica, que son factores de riesgo para ciertas enfermedades crónicas como son las enfermedades cardiovasculares y el cáncer.

5.4. ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE

La actividad antioxidante es la capacidad de un alimento de disminuir la concentración de radicales libres en el organismo humano y por tanto mejorar el estado de salud de quien lo consume además de ser un parámetro interesante para valorar la calidad dietética del producto. La actividad antioxidante de los distintos grupos de compuestos depende de la estructura individual y del número de oxidrilos sustituyentes, así como del peso molecular (Paladino, 2008).

Las sustancias fotoquímicas son productos orgánicos constituyentes de alimentos de origen vegetal (frutas y hortalizas y alimentos derivados de ellas), que no son nutrientes y que pueden proporcionar al alimento otras propiedades fisiológicas que van más allá de las nutricionales propiamente dichas. Dentro de este término genérico, se incluyen sustancias de diversas familias químicas, como son los polifenoles (Rivas, 2002).

A los alimentos vegetales se les atribuye principalmente sustancias con actividad antioxidante, como los compuestos polifenólicos, el ácido ascórbico (vitamina C), los carotenoides y la vitamina E. Se ha sugerido que estas sustancias aumentan la defensa antioxidante del organismo, disminuyen el estrés oxidativo, y evitan diferentes tipos de daño celular (Murillo, 2006).

5.5. DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS

Los compuestos fenólicos (principalmente polifenoles) se determinan haciendo reaccionar los componentes con el reactivo de Folin-Ciocalteu. Esta reacción es característica para compuestos que tienen un grupo hidroxilo unido a un anillo de benceno. El reactivo de Folin-Ciocalteu tiene una coloración amarilla que en presencia de un fenol se torna azul. La intensidad del color azul se mide espectrofotométricamente a 760 nm (Murillo, 2006).

5.5.1. ESPECTROFOTÓMETRO

La oxidación de los fenoles, presentes en la muestra, causa la aparición de una coloración azulada, y que se cuantifica por espectrofotometría en base a una recta patrón de ácido gálico. Se trata de un método preciso y sensible, pero que, aun así, padece numerosas variaciones, cuando es aplicado por diferentes grupos de investigación, fundamentalmente en lo relativo a los volúmenes utilizados de la muestra, concentración de reactivos y tiempo y temperatura de incubación. También se producen numerosas variaciones en el modo de expresar los resultados, de manera que el patrón recomendado de ácido gálico, ha sido sustituido, en ocasiones por otros (Almajano, 2009).

El espectrofotómetro es construido mediante procesos avanzados de fabricación, y es uno de los principales instrumentos diagnósticos y de investigación desarrollados por el ser humano. Utiliza las propiedades de la luz y su interacción con otras sustancias, para determinar la naturaleza de las mismas. En general, la luz de una lámpara de características especiales es guiada a través de un dispositivo que selecciona y separa luz de una

determinada longitud de onda y la hace pasar por una muestra. La intensidad de la luz que sale de la muestra es captada y comparada con la intensidad de la luz que incidió en la muestra y a partir de esto se calcula la transmitancia de la muestra, que depende de factores como la concentración de la sustancia.

5.5.2. PROPÓSITO DEL EQUIPO

El espectrofotómetro se usa en el laboratorio con el fin de determinar la concentración de una sustancia en una solución, y permitiendo así la realización de análisis cuantitativos.



Figura 12. Espectrofotómetro

5.5.3. PRINCIPIOS DE OPERACIÓN

Como principio básico se considera que la luz es una forma de energía electromagnética, y que en el vacío tiene una velocidad constante [C] y universal de aproximadamente 3×10^8 m/s. En cualquier otro medio (transparente) por el que pase la luz, su velocidad será ligeramente inferior y podrá calcularse mediante la siguiente ecuación:

$$v_0 = \frac{c}{n}$$

Dónde:

v = velocidad a través del medio por el que pasa la luz

n = índice de refracción del medio, cuyo valor oscila entre 1.0 y 2.5

La energía electromagnética dispone de una muy amplia gama de longitudes de onda. La luz, al pasar o interactuar con diversos medios, presenta una serie de fenómenos, entre los que destacan la reflexión, refracción, difracción, absorción, difusión, polarización y otros que son utilizados en diversos instrumentos y dispositivos.

5.5.4. USO DEL ESPECTROFOTÓMETRO

1. Efectuar la calibración del espectrofotómetro cada vez que se realiza el análisis de un grupo de muestras.
2. Mantener cerrada la tapa de la porta muestras durante el proceso de medición, para asegurar una lectura adecuada. Evitar reutilizar las cubetas desechables.
3. Utilizar únicamente cubetas de cuarzo para efectuar análisis por debajo de los 310 nm. Evitar el uso de cubetas plásticas, si se utilizan solventes orgánicos.
4. Utilizar cristalería de boro silicato de alta calidad para preparar los estándares. Evitar el uso de cristalería de sodio –óxido de sodio– siempre que sea posible, debido a que el contacto prolongado con los estándares puede permearla y, en consecuencia, producir resultados erróneos.
5. Limpiar cuidadosamente las cubetas de vidrio después de utilizarlas. Desechar aquellas que presenten rayones en la superficie pulida.
6. Utilizar en lo posible reactivos de alta calidad, reactivos de baja calidad pueden causar contaminación incluso en concentraciones muy bajas. Los diluyentes utilizados como agua o solventes deberán estar libres de impurezas.
7. Tener en cuenta, cuando se pretenda utilizar nuevos procedimientos, que no todas las sustancias cumplen con la ley de Beer. Efectuar pruebas de linealidad sobre el rango de concentraciones a ser utilizadas. Se recomienda preparar un grupo de soluciones fuertes conocidas.

5.5.5. LEY DE BEER

Consideraciones durante el uso del espectrofotómetro:

La ley explica que hay una relación exponencial entre la transmisión de luz a través de una sustancia y la concentración de la sustancia y si conocemos la concentración de la sustancia puede ser deducida a partir de la cantidad de luz transmitida.

- a) Las altas concentraciones por asociación molecular de especies iónicas.
- b) Variaciones en la hidratación a bajas concentraciones producen cambios en la naturaleza de los iones complejos.
- c) Absorciones que no obedezcan la ley requieren dibujar una gráfica de estándares conocidos, que indicará lectura versus concentración, de forma que la lectura de las incógnitas pueda ser relacionada a las concentraciones desde la gráfica.

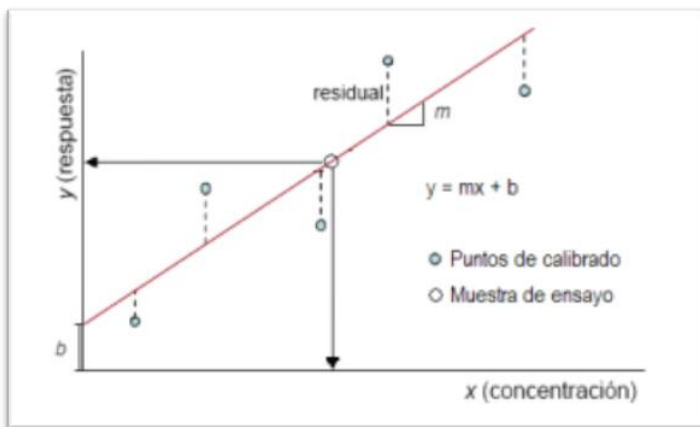
5.5.6. CURVA DE CALIBRACIÓN

Una curva de calibración es la representación gráfica de una señal que se mide en función de la concentración de un analito. La calibración incluye la selección de un modelo para estimar los parámetros que permitan determinar la linealidad de esa curva, y, en consecuencia, la capacidad de un método analítico para obtener resultados que sean directamente proporcionales a la concentración de un compuesto en una muestra, dentro de un determinado intervalo de trabajo. En el procedimiento se compara una propiedad del analito con la de estándares de concentración conocida del mismo analito (o de algún otro con propiedades muy similares a éste). Para realizar la comparación se requiere utilizar métodos y equipos apropiados para la resolución del problema de acuerdo al analito que se desee determinar.

La etapa de calibración analítica se realiza mediante un modelo de línea recta que consiste en encontrar la recta de calibrado que mejor ajuste a una serie de “n” puntos experimentales, donde cada punto se encuentra definido por una variable “x” (variable independiente, generalmente concentración del analito de interés) y una variable “y” (variable dependiente, generalmente respuesta instrumental). La recta de calibrado se encuentra definida por una ordenada al origen (b) y una pendiente (m), mediante la ecuación $y = mx + b$.

A partir de la curva de calibración (conjunto de concentraciones que describen el intervalo en el cual se deberá cuantificar el compuesto por analizar) y a fin de asegurar que la recta encontrada con los puntos experimentales se ajuste correctamente al modelo matemático de la ecuación se calculan los valores de la ordenada al origen, la pendiente y el coeficiente de determinación (R^2). (Dosal et al. 2008)

Por tener una buena exactitud y confiabilidad estadística, el método más empleado para encontrar los parámetros de la curva de calibrado es el método de los mínimos cuadrados. Este método busca la recta del calibrado que haga que la suma de los cuadrados de las distancias verticales entre cada punto experimental y la recta de calibrado sea mínima o tienda a cero. A la distancia vertical entre cada punto experimental y la recta de calibrado se le conoce como residual. En forma gráfica se representa como:



13. Curva de calibración.

6. VIDA DE ANAQUEL ACELERADA

La vida en anaquel puede ser definida generalmente como el período de tiempo seguido a la cosecha, producción o manufactura, sobre el cual el alimento mantiene la calidad requerida (Tung et al., 2001).

Los estudios de vida en anaquel acelerada o “Accelerated Shelf Life Testing (ASLT)” pueden ser utilizados para estimar con aceptable exactitud la vida en anaquel de un producto que de otra forma tomaría un tiempo largo determinar (Steele et al. (2006).

Los alimentos son perecederos *per se*, es decir, tienen una determinada vida útil.

La calidad engloba muchos aspectos del alimento como son sus características físicas, químicas, microbiológicas, sensoriales, nutricionales y las referentes a la inocuidad. En el instante en que alguno de estos parámetros se considera como inaceptable el producto ha llegado al fin de su vida útil. La vida de anaquel de un alimento se define como el

tiempo en el cual éste conserva sus propiedades fisicoquímicas, organolépticas, microbiológicas y nutricionales. Así mismo, para determinar la vida útil de un alimento o producto, primero deben identificarse las reacciones químicas o biológicas que influyen principalmente en su calidad.

Existen varias pruebas para determinar la vida de anaquel de un alimento. Sin embargo, hoy en día, las llamadas “Pruebas de Vida de Anaquel Acelerada” son la metodología más empleada para calcular dicha vida útil. El principio es que, a mayor temperatura durante su almacenamiento, mayor daño en el alimento en menor tiempo. Básicamente este tipo de pruebas evalúa el efecto de la temperatura sobre la vida de anaquel.

El llamado Q10 establece que una determinada reacción química o biológica duplica su velocidad al aumentar la temperatura cada 10°C, hasta cierto punto. Ésta ley también se aplica a las reacciones químicas o biológicas de los alimentos. La metodología consiste en colocar el alimento ya envasado a una determinada temperatura y evaluar los cambios microbiológicos, fisicoquímicos y sensoriales durante un determinado tiempo, y posteriormente mediante una serie de cálculos se determina la vida útil del alimento bajo condiciones normales de almacenamiento.

Los modelos predictivos presentan múltiples aplicaciones en la industria alimentaria, ya que proporcionan información útil para poder tomar decisiones en muchos casos. Otra de las aplicaciones de los modelos predictivos es poder predecir la vida útil de alimentos de conservación muy larga (por ejemplo, esterilizados o congelados) en un periodo de tiempo menor al real, mediante estudios de envejecimiento acelerado (Niun, Alfaro, & Abaroa, 2008).

Los métodos acelerados de estimación de la vida de anaquel de alimentos se basan en la aplicación de los principios de la cinética química sobre el efecto que las condiciones ambientales como temperatura, presión, humedad, gases de la atmósfera y luz, y que tienen sobre la velocidad de la reacción

Una forma útil de cuantificar el efecto de la temperatura sobre la calidad de un alimento es a través de los gráficos de vida de anaquel. Estos consisten en graficar el logaritmo natural del tiempo de vida de anaquel contra la temperatura o su inverso. De estos gráficos se pueden obtener parámetros importantes como son la energía de activación, y el parámetro, el cual se define como la razón entre la vida de anaquel a una temperatura T y la vida de anaquel a otra temperatura T+10.

$$Q_{10} = \frac{\text{Vida de Anaquel a Temperatura } T}{(\text{Vida de Anaquel a Temperatura } T+10)^2}$$

Existen una serie de limitaciones prácticas en las cuales no es adecuado utilizar las técnicas de abuso térmico para predecir el deterioro a temperaturas más bajas mediante la ley de Arrhenius. (Ocampo, 2003)

- ✓ Los cambios de temperatura pueden generar cambios de fase, los cuales pueden acelerar ciertas reacciones, haciendo que la vida de anaquel predicha a temperaturas menores sea más corta que la real.
- ✓ Puede haber error en la evaluación analítica o sensorial. Generalmente, cualquier medición debe tener una variabilidad de menos del 10% para minimizar los errores en la predicción.
- ✓ La solubilidad de gases, especialmente el oxígeno decrece al menos en un 25% por cada aumento en 10°C en la temperatura, así la velocidad de una reacción oxidativa (perdida de vitamina E, A, C o Ácido linoleico), puede ser disminuida si el oxígeno disponible es el factor limitante. Por lo tanto, a altas temperaturas, la velocidad puede ser más baja que la velocidad teórica.
- ✓ Si altas temperaturas son usadas, una desnaturalización de las proteínas puede darse en el alimento. Esto puede resultar en un incremento o decremento en la velocidad de reacción de ciertas cadenas laterales de aminoácidos, provocando errores en la predicción de la vida de anaquel a temperaturas moderadas.
- ✓ Si dos reacciones con diferente valor de Q_{10} , causan una pérdida de la calidad, aquella con mayor valor de Q_{10} , puede predominar a altas temperaturas, pero un mecanismo diferente puede darse a condiciones normales de almacenamiento, confundiendo así la predicción

Es importante mencionar que el objetivo de un estudio acelerado de vida de anaquel consiste en acelerar el mecanismo de deterioro del alimento y no transformarlo.

7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Las pruebas estadísticas que utilizamos para el diseño experimental en la investigación fueron una serie de programas de computación como Excel, JMP 9. Ya que utilizamos datos numéricos. El objetivo de usar ese tipo de pruebas estadísticas es dar a conocer la aceptación o rechazo de los datos analizados en las pruebas y así estimar un parámetro a partir de los datos contenidos en una muestra.

II. JUSTIFICACIÓN

En los últimos años se han enfocado al estudio de los antioxidantes, un grupo muy amplio de sustancias presentes en su mayoría de manera natural en alimentos de origen vegetal, y que han llamado la atención de la medicina y de la industria alimentaria por sus beneficios a nuestra salud.

Los antioxidantes pueden ser usados de distintas maneras. La primera consiste en aislarlos de su fuente natural y adicionarlos a un alimento como un aditivo, y así evitar el deterioro de los alimentos. El segundo, que se ha desarrollado durante las dos últimas décadas, y que consiste en ingerirlos de forma natural mediante el consumo de alimentos ricos en estos compuestos, tales como las frutas. El consumo de antioxidantes evita la presencia excesiva de radicales libres en nuestro organismo y con ello favoreciendo un estado global de salud.

Las frutas son ricas en agentes antioxidantes, pero son productos altamente perecederos; motivo por el cual son tratadas por diferentes tecnologías de conservación de alimentos, tales como la deshidratación osmótica y solar. La carambola es considerada una fruta exótica y con gran potencial de comercialización.

En este trabajo de tesis se deshidrato osmótica y solarmente a la fruta carambola y se evaluó el efecto de estas tecnologías sobre la estabilidad de los agentes antioxidantes presentes en dicha fruta en forma natural.

III. HIPÓTESIS

La deshidratación osmótica es un sistema de conservación de alimentos que tiende a no afecta el valor nutritivo de los alimentos porque utiliza temperaturas bajas y no hay cambios de fase en el agua durante el proceso tecnológico. Esta puede disminuir la humedad de un alimento hasta cerca del 40% y aumentar con ello la vida de anaquel. Se puede usar posteriormente una deshidratación solar para disminuir aún más el contenido de agua, y sin alterar el valor nutritivo del alimento, incluyendo a ciertos compuestos funcionales como son los agentes antioxidantes.

IV. OBJETIVOS

1. OBJETIVO GENERAL

Realizar un proceso de deshidratación osmótica utilizando sacarosa como agente osmótico y seguida de un proceso de deshidratación solar para la fruta carambola (*Averrhoa carambola* L) y cuantificar su capacidad antioxidante mediante pruebas de vida de anaquel acelerada.

2. OBJETIVOS PARTICULARES

- Realizar un proceso de deshidratación osmótica utilizando sacarosa como agente osmótico en fruta carambola fresca.
- Realizar un proceso de deshidratación solar como complemento a la deshidratación osmótica.
- Análisis bromatológicos de la carambola en estado natural, deshidratada osmóticamente, y deshidratación solar.
- Cuantificación de Antioxidantes en pruebas de vida de anaquel acelerada.

V. MATERIAL Y MÉTODOS

1. MATERIALES

- Balanza analítica PRECISA modelo XT220A
- Cápsulas de porcelana
- Espátulas
- Estufa
- Extractor Soxhlet
- Macro Kjeldhal
- Mufla. Marca Felisa. Modelo Fe-363
- Olla de acero inoxidable con capacidad de 2 L
- Plancha de calentamiento eléctrica Lindberg modelo 53066
- Refractómetro Bausch & Lomb modelo 334010
- Termómetro de mercurio de 250°C
- Espectrofotómetro. Spectronic 20 Genesys modelo 4001/4
- Deshidratador solar. Fabricado en la Facultad de Químico Farmacobiología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

2. MÉTODOS

Esta tesis utiliza metodología empleada en un proyecto anterior, y cuya tesis corresponde a la presentada por la QFB. Clotilde Sotomayor Arroyo (2013). Deshidratación osmótica a base de sacarosa seguida de una deshidratación solar en la fruta carambola (*Averrhoa carambola* L).

Basándose en las conclusiones de dicha tesis, se utilizaron los siguientes parámetros como parte de esta tesis:

- ☞ Las condiciones óptimas de proceso de deshidratación osmótica son: 50 °Brix, 53°C, y 4 horas, y con una humedad final de 49.3%.
- ☞ El producto terminado de la deshidratación osmótica al ser sometido a un proceso de deshidratación solar dio como tiempo óptimo de proceso 2 horas con una humedad final del 36.5%.

Los métodos de deshidratación osmótica y solar son una buena opción para la elaboración de nuevos productos ya que es un método eficaz para la conservación de los productos y aumentar su vida de anaquel.

2.1. METODOLOGÍA GENERAL

A continuación, se presenta un diagrama de flujo con la metodología general.

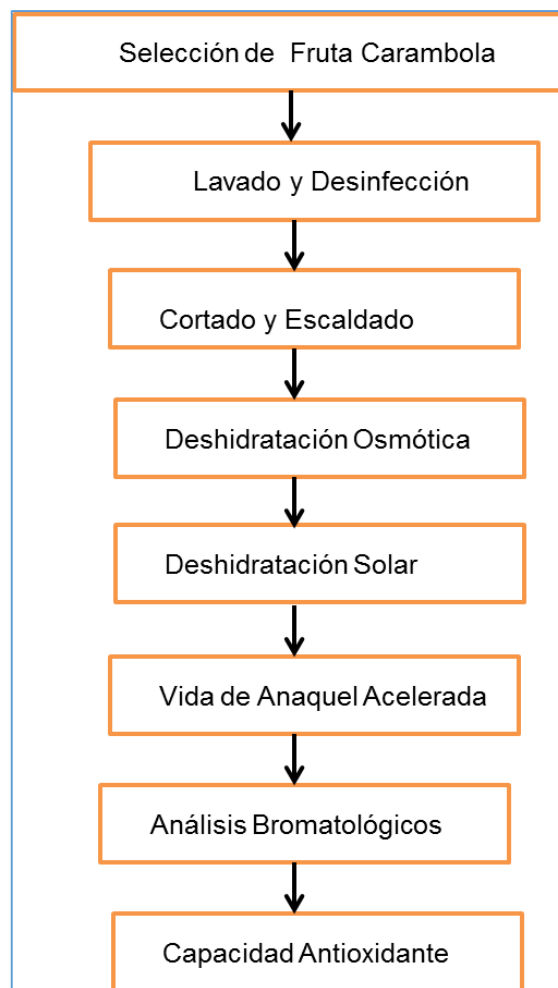


Figura 14. Metodología General.

2.2. ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL

- Determinación de Humedad. Se determinó por el método 934.01 de la AOAC (1997). Norma técnica de referencia NMX-F-083-S-1986
- Determinación de Cenizas. Se determinó por incineración por el método 962.09 de la AOAC (1997). Norma técnica de referencia NMX-F-607-NORMEX-2002
- Determinación de Lípidos. Se determinó por el método 920.85 de la AOAC (1997). Norma técnica de referencia NMX-F-615-NORMEX-2004
- Determinación de Nitrógeno Proteico. Determinación de proteína cruda por método de Kjeldhal. Se determinó por el método 920.87 de la AOAC (1997). Norma técnica de referencia NMX-F-608- NORMEX-2002
- Determinación de Fibra Cruda. Se determinó por el método 985.29 de la AOAC (1997). Norma técnica de referencia NMX-F-613-NORMEX-2003

2.3. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO

Se utilizó como materia prima la fruta carambola (*Averrhoa carambola* L) adquirida en el mercado de San Juan, ubicado en la ciudad de Morelia, Michoacán. La selección de la fruta siempre fue uniforme, y siempre se buscaba que cada fruto tuviera las mismas características de maduración y tamaño. Se compraban lotes de 2 kilogramos para cubrir los diferentes métodos de deshidratación: osmótica y solar.

Las frutas fueron lavadas con agua corriente y detergente líquido y después se cortaron en trozos de un tamaño aproximado de 1 cm de grueso. Después seguía el proceso de escaldado con la finalidad de inactivar enzimas que pudieran afectar el color del producto, ya que se podrían presentar problemas de oscurecimiento enzimático. El proceso de escaldado se llevó acabo colocando los trozos en agua purificada en ebullición durante 2 minutos.

Después del escaldado la fruta se llevaba a un jarabe preparado con sacarosa y agua purificada y se sumergían los trozos de fruta al jarabe y llevándolos al proceso de deshidratación Osmótica. El proceso se realizó por 4 horas a 50 °Brix y a 53°C, después de dicho proceso se determinó la humedad. Finalizado el proceso de deshidratación osmótica la carambola fue sometida a un proceso de deshidratación solar, y con el objetivo de disminuir aún más el contenido acuoso del alimento y con ello ser menos propenso a la descomposición y contaminación biológica.

La deshidratación solar consistió en someter a la carambola deshidratada por osmosis a un equipo de deshidratación solar fabricado en la Facultad de Químico Farmacobiología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. El periodo de tiempo de deshidratación fue de 2 horas comenzando 15 de junio del 2015 a las 11 am del día, y se tomando lecturas de temperatura periódicamente para determinación de pérdida de humedad.

Posteriormente se realizaron estudios de vida de anaquel acelerada durante 12 días en una estufa a una temperatura de 55°C. Estos estudios incluyeron tres tipos de muestras: fruta fresca, fruta por deshidratación osmótica, y fruta deshidratada osmóticamente y secada solarmente. Se realizaron análisis proximales de los tres productos y se midieron agentes antioxidantes utilizando la técnica de Folin-Ciocalteu para la determinación de catequinas.

2.3.1. DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

A. PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN OSMÓTICA

Como agente osmótico se utilizó sacarosa, la cual fue adquirida en la tienda Abarrotes Azteca de la ciudad de Morelia, Michoacán, México, y se utilizó agua purificada para realizar la solución a una concentración de 50 °Brix. Para preparar el jarabe a 50°Brix se colocaron 250 g de sacarosa y 250 mL de agua y se procedió a disolver la solución de sacarosa aplicando calor para lograr una homogeneidad del jarabe; después se realizó la lectura correspondiente en el refractómetro para constatar la concentración de grados °Brix deseada.

B. DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA (DO)

En la deshidratación osmótica se llevó a cabo los cortes de carambola de 250 g, y se introdujeron en medio litro del jarabe de sacarosa en una olla de acero inoxidable. Así manejando una relación de carambola-jarabe 1:2

En toda la parte del proceso se mantuvo una agitación constante con ayuda de un agitador de cristal, y se hacían intervalos de 2-3 veces por hora. Se mantuvo el volumen inicial constante por medio de la adición de agua purificada cada hora del proceso, y ajustando los °Brix con un refractómetro. Durante el proceso completo de deshidratación osmótica se determinó la humedad en el alimento por el método de diferencial de peso, y en donde la toma de muestra se realizaba cada hora.



Figura 15. Proceso de deshidratación osmótica en la fruta carambola

2.3.2. DESHIDRATACIÓN SOLAR

Se llevó a cabo el proceso de deshidratación solar usando un equipo de deshidratación solar elaborado en la Facultad de Químico Farmacobiología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Este consistió en colocar los trozos de muestra obtenida en la deshidratación osmótica dentro del equipo y se tomaban muestras para determinar la pérdida de humedad. El tiempo total de fue de 2 Horas. Comenzando a las 11 am y terminando a las 1 pm y se realizó en día 5 de junio del 2015.



Figura 16. Proceso de deshidratación solar en las muestras de carambola

2.3.3. VIDA DE ANAQUEL ACELERADA

Consistió en someter a las diferentes muestras de fruta a una temperatura constante durante su almacenamiento. Las muestras fueron fruta fresca, fruta tratada osmóticamente, y fruta tratadas osmóticamente y seguida de una deshidratación solar.

Básicamente este tipo de pruebas evalúa el efecto de la temperatura sobre la vida de anaquel, prueba Q10. La prueba duró 12 días a una temperatura de 55°C, equivalente a 192 días a una temperatura de 25°C, es decir, 6.5 meses. Las muestras fueron empacadas en bolsas Ziploc y se realizaron pruebas fisicoquímicas y se evaluó la presencia de los agentes antioxidantes.

Los métodos acelerados de estimación de la vida de anaquel de alimentos se basan en la aplicación de los principios de la cinética química sobre el efecto que las condiciones ambientales como temperatura, presión, humedad, gases de la atmósfera y luz, y que tienen efecto directo sobre la velocidad de las reacciones de deterioro.



Figura 17. Estufa

A. CUANTIFICACIÓN DE ANTIOXIDANTES

Por su facilidad y reproducibilidad se seleccionó el método de Folin-Ciocalteu para la determinación de fenoles totales en extractos vegetales.

La metodología consistió en pesar 1 g de la muestra y luego se cortó en trozos pequeños, y se llevó a una probeta. Posteriormente, se completó con agua destilada hasta 10 mL, y se licuó. Esta solución se filtró usando gasa, y el líquido filtrado se centrifugó a 3,500 rpm durante 15 minutos. El sobrenadante obtenido se usó para realizar las diferentes determinaciones analíticas. Posteriormente se utilizó el método de Folin-Ciocalteu para la determinación de las Catequinas.

Para hacer la curva de calibración se utilizó 0.05 g de catequinas, y aforando a 50 mililitros. Después de los 50 mL se tomaron 5 mL de la solución ya preparada y de ahí se aforó a 50 mL. Ya teniendo esa dilución se hizo la curva de calibración partiendo de una concentración de 20 μ L y de ahí se hacían concentraciones mayores. Las lecturas en el espectrofotómetro fueron a 665 nm.

Para la determinación de las catequinas de las muestras problema se tomaban 20 μ L de muestra y se dejaba reposar a temperatura ambiente durante 2 horas y posteriormente se leían en el espectrofotómetro a 665 nm. La determinación se realizó por triplicado.

El fundamento de la determinación de catequinas radica en el poder reductor que ejercen las catequinas sobre el reactivo Folin-Ciocalteu en medio ácido, tornándolo de color azul, y cuya intensidad guarda relación con la concentración de catequinas. Los resultados se expresan como mg equivalentes de ácido gálico en 100 g de muestra fresca.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL DE LA CARAMBOLA

Se realizó un análisis proximal a la fruta carambola (*Averrhoa carambola L*) para cada una de las variantes de la misma: fruta fresca, fruta tratada osmóticamente, y fruta tratada osmóticamente seguida de un secado solar. Así mismo, se hizo un análisis bromatológico de la fruta deshidratada solarmente a los 12 días de la vida de anaquel de anaquel acelerada a una temperatura de 55°C. Los resultados se muestran en la tabla 6. En la tabla 7 se muestran los valores correspondientes en base seca.

Cabe señalar que la fruta ya deshidratada osmóticamente y solarmente se sometió a pruebas de vida de anaquel acelerada durante 12 días a 55°C. Acorde al concepto de Q10, cada 10°C, hay un aumento del doble en las reacciones de deterioro de un alimento. Si asumimos que la temperatura ambiente es de 25°C, entonces una prueba a 55°C tiene un $Q_{10} = 3$, así tenemos que sería una duplicación de $2^3 = 16$. Esto implica que 1 día de vida de anaquel a 55°C equivale a 16 días de vida a 25°C. Si nuestro estudio se dio por 12 días a 55°C, entonces equivale a una vida de anaquel de 192 días a 25°C, es decir, 6.4 meses.

Tabla 6. Análisis Bromatológico de la Carambola. Base Húmeda.

	Fresca	Osmótica	Solar	Solar. 12 días. 55°C
Agua	90.00	49.59	34.24	27.64
Carbohidratos	8.70	47.52	61.46	67.68
Fibra Cruda	0.80	1.44	2.05	2.02
Proteínas	0.20	0.79	1.24	2.00
Lípidos	0.10	0.31	0.27	0.26
Cenizas	0.20	0.35	0.74	0.40
Total	100	100	100	100

El análisis bromatológico en base húmeda nos arroja que hay cambios significativos en la humedad de las mismas; lo cual es lógico porque la fruta fue tratada para disminuir

su contenido de agua y aumentar con ello su vida de anaquel. Al igual, hay ganancia en carbohidratos, y esto debido a que se usó sacarosa como agente osmótico, y sabiendo que parte de un proceso osmótico global implica la entrada parcial del agente osmótico a la fruta procesada.

Tabla 7. Análisis Bromatológico de la Carambola. Base Seca.

	Carambola Fresca	Carambola Osmótica	Carambola Osmótica-Solar	Solar. 12 días. 55°C
Carbohidratos	87.00	94.27	93.46	93.53
Fibra Cruda	8.00	2.86	3.12	2.79
Proteínas	2.00	1.57	1.89	2.76
Lípidos	1.00	0.41	0.41	0.36
Cenizas	2.00	0.69	1.13	0.55

El análisis bromatológico en base seca, notamos un cambio notable en el aumento de carbohidratos entre la fruta fresca y la fruta tratada por deshidratación osmótica, pero justificado por el uso del azúcar como agente osmótico. No hay cambios significativos entre la fruta osmótica y la fruta tratada por deshidratación solar. Esto implica que la deshidratación solar no afecta el contenido de carbohidratos. Tampoco hay cambios en la fruta deshidratada solarmente a los 12 días de vida de anaquel acelerada a 55°C; esto implica que el tratamiento de deshidratación osmótica y solar permite aumentar la vida de anaquel de la fruta carambola.

Hay pérdida de fibra cruda entre la fruta fresca y la fruta tratada osmóticamente. Este es un punto interesante, ya que este sugiere que hay pérdida de fibra en la tecnología de deshidratación osmótica. Así mismo se observa que no hay cambio de fibra entre el producto tratado por deshidratación osmótica y deshidratación solar, y tampoco durante los estudios de vida de anaquel acelerada. También se observan cambios en el balance de cenizas entre la fruta fresca y la deshidratación osmótica, y tienden a disminuir. Hay que recordar que durante la deshidratación osmótica hay tres flujos: una pérdida de agua y una entrada del agente osmótico, pero también hay entrada y salida de otros solutos.

2. ANTIOXIDANTES

Se determinó la cantidad de catequinas en los tres productos de experimentación. Fruta fresca, fruta tratada osmóticamente, y fruta tratada osmóticamente y seguida de una deshidratación solar. Así mismo, se evaluó los cambios en la cantidad de agentes antioxidantes durante las pruebas de vida de anaquel acelerada.

Se hizo un análisis de todos los resultados. La prueba se analizó desde dos perspectivas. Primero, las variaciones de las catequinas con respecto al tiempo de experimentación y por producto de forma individual. Segunda, comparando la concentración de catequinas entre los tres productos por día.

Las condiciones experimentales en la vida de anaquel acelerada fueron las siguientes: someter las diferentes frutas durante 12 días a una temperatura constante de $55^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, y equivalente a 192 días a una temperatura de 25°C , es decir, 6.4 meses. Las muestras fueron empacadas en bolsas Ziploc® y se realizaron pruebas fisicoquímicas y se evaluó la presencia de los agentes antioxidantes.

El Q_{10} es un parámetro de calidad que se obtiene del estudio del Tiempo de Vida de Anaquel, y que refleja el número de veces que el deterioro del alimento si se acelera o disminuye dependiendo de que la temperatura aumente o disminuya 10°C .

Los resultados de las tablas son analizados usando un software JPM y manejando un análisis estadístico tipo Tukey, y evaluando estadísticamente si hay cambios significativos en las muestras.

2.1. CURVA DE CALIBRACIÓN

Tabla 8. Curva de Calibración

Absorbancia	Concentración de Catequinas ($\mu\text{g/L}$)
0.000	0.0
0.270	2.0
0.370	4.0
0.540	6.0
0.680	8.0
0.750	10.0
1.050	12.0
1.104	14.0
1.270	16.0

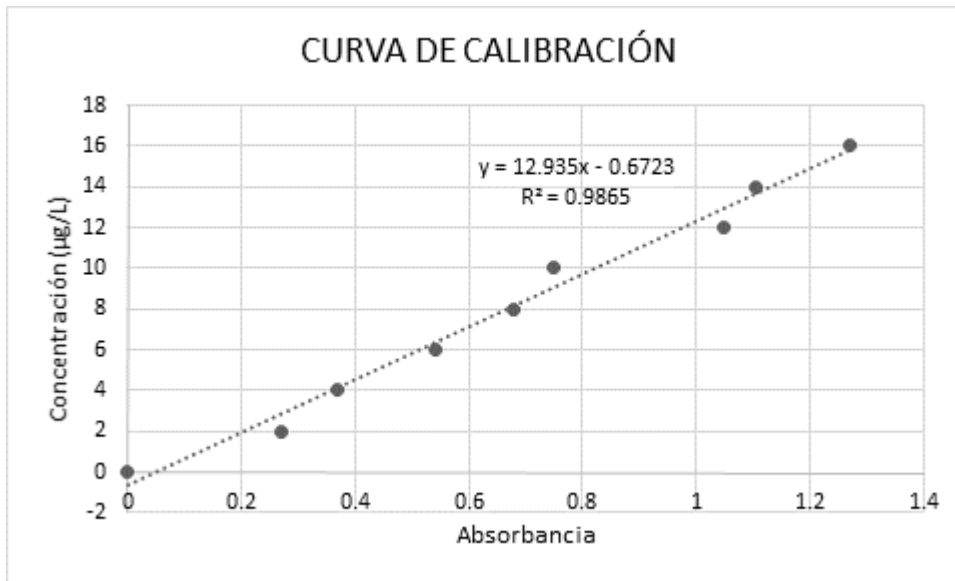


Figura 18. Curva de Calibración

Valor R = 0.993

Ecuación de la Recta:

$$\text{Concentración } \left(\frac{\mu g}{L} \right) = 12.935(\text{Absorbancia}) - 0.6723$$

2.2. PERDIDA DE HUMEDAD DURANTE VIDA DE ANAQUEL

Las muestras fueron almacenadas en bolsas comerciales marca Ziploc®. Se observa una ligera pérdida de agua con respecto al tiempo. La diferencia final después de los 12 días de almacenamiento a 55°C fue de 3%.

Tabla 9. Pérdida de Humedad. Vida de Anaquel Acelerada. 55°C.

	Día 1	Día 4	Día 8	Día 12
% Humedad	90.0	89.25	87.90	87.30

2.3. CATEQUINAS POR PRODUCTO

La comparación que hacemos de catequinas por producto es para comparar si hay cambios significativos en cada uno de los productos desarrollados de forma individual durante los 12 días que se desarrolló la prueba. Los resultados de la siguiente tabla se leen en forma vertical.

Tabla 10. Catequinas por Producto ($\mu\text{g/L}$). Vida de Anaquel. 12 días a 55°C

	Carambola Fresca (CF)	Carambola Osmótica (O)	Carambola Solar (D)
Día 1 (FC1)	$2.363 \pm 0.012^{\text{C}}$	$0.584 \pm 0.004^{\text{B}}$	$0.603 \pm 0.005^{\text{D}}$
Día 4 (FC4)	$4.174 \pm 0.021^{\text{B}}$	$1.053 \pm 0.010^{\text{A}}$	$1.048 \pm 0.009^{\text{A}}$
Día 8 (FC8)	$4.973 \pm 0.024^{\text{A}}$	$0.472 \pm 0.020^{\text{C}}$	$0.863 \pm 0.016^{\text{B}}$
Día 12 (FC12)	$4.855 \pm 0.227^{\text{A}}$	$0.374 \pm 0.010^{\text{D}}$	$0.778 \pm 0.044^{\text{C}}$

- Letras iguales en la misma columna no presentan diferencia significativa. Letras diferentes en la misma columna presentan diferencia significativa con $P < 0.05$

En las siguientes imágenes se muestran las representaciones gráficas de cada uno de los resultados de la tabla anterior.

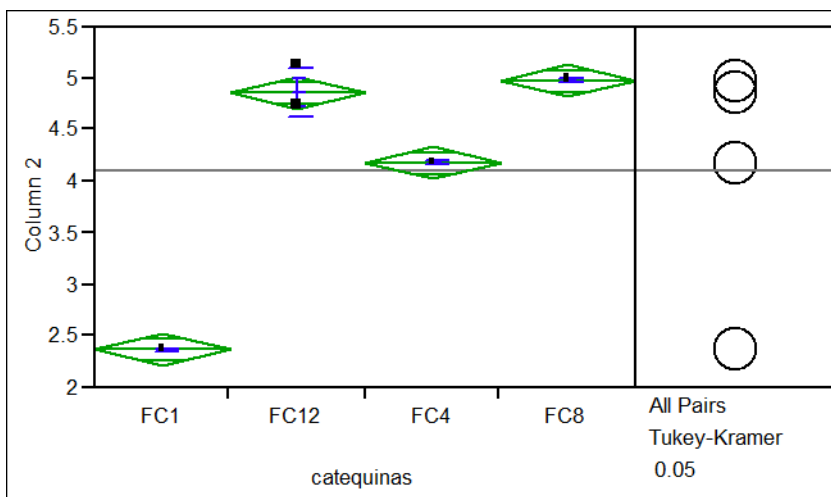


Figura 19. Catequinas. Fruta Fresca. Vida de Anaquel Acelerada.

En la ilustración 19 se muestran los resultados en fruta fresca. Notamos que hay cambio significativo del día 1 al día 12. Se observa en general un aumento en la concentración de catequinas. El aumento es máximo al día 8, pero ya no hay diferencia significativa entre el día 8 y 12. Esto implica que hay un aumento en la concentración de catequinas al pasar el tiempo de almacenamiento. Cabe señalar que también es posible que el aumento en la temperatura haya sido la causa del aumento en la concentración de catequinas, y no el tiempo de almacenamiento. El único modo de validar dicho comentario es realizar una prueba de vida de anaquel sin aumento en la temperatura de almacenamiento.

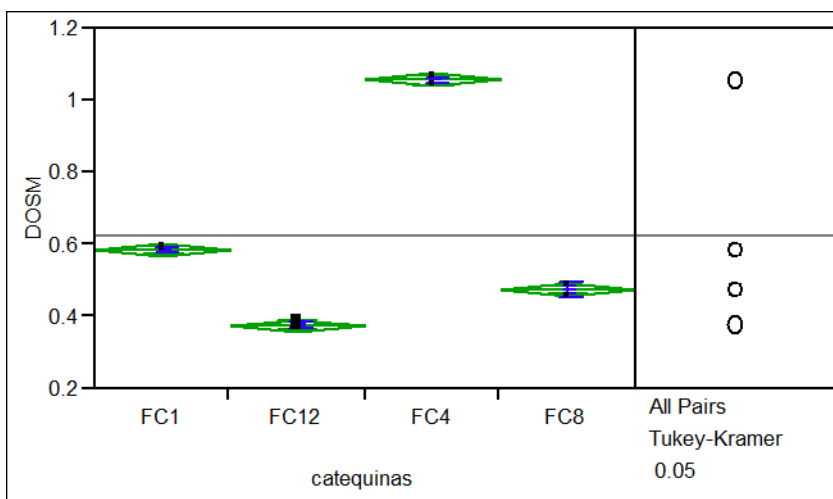


Figura 20. Catequinas. Fruta Osmótica. Vida de Anaquel Acelerada.

En la ilustración 20 encontramos una variación significativa, ya que hay un incremento en la concentración de catequinas en el día 4; pero encontramos una gran disminución en el día 8 y 12. Hay diferencia significativa entre los 4 días.

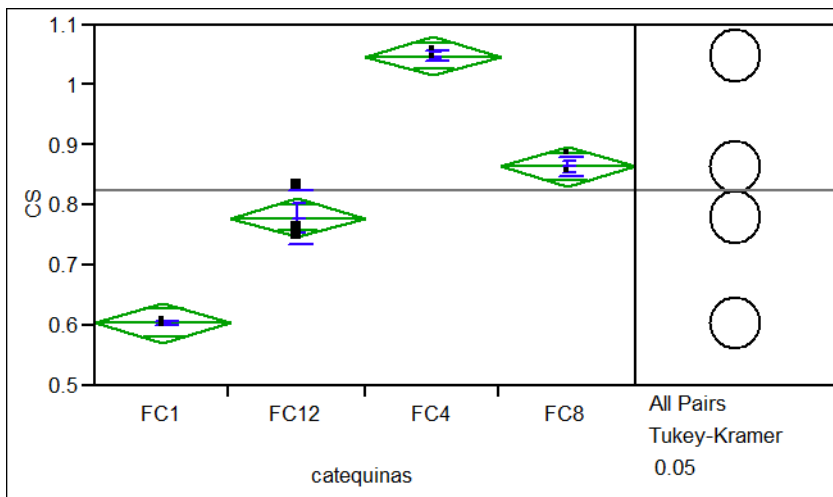


Figura 21. Catequinas. Fruta Solar. Vida de Anaquel Acelerada.

En la ilustración 21 presentamos la concentración de catequinas en la fruta secada solarmente y con previo tratamiento osmótico. La concentración de catequinas aumenta conforme aumenta el tiempo de almacenamiento, igual a lo observado en la fruta fresca. La máxima concentración se da a los 4 días, pero después disminuye.

2.4. CATEQUINAS ENTRE PRODUCTOS

Aquí hacemos un análisis entre los tres productos desarrollados por día. La información de la siguiente tabla se lee de forma vertical.

Tabla 11. Catequinas por Producto. Vida de Anaquel Acelerada. 12 días a 55°C.

	Día 1	Día 4	Día 8	Día 12
Fruta Fresca (CF)	2.363 ± 0.012^A	4.173 ± 0.020^A	4.972 ± 0.021^A	4.855 ± 0.227^A
Fruta Osmótica (D)	0.603 ± 0.004^B	1.053 ± 0.020^B	$0.863 \pm 0.010_B$	0.778 ± 0.010^B
Fruta Solar (O)	0.584 ± 0.024^C	1.048 ± 0.016^B	0.472 ± 0.014^C	0.374 ± 0.044^C

- Letras iguales en la misma columna no presentan diferencia significativa. Letras diferentes en la misma columna presentan diferencia significativa con $P < 0.05$

En general se observa que hay una disminución en la concentración de catequinas al ser procesada la fruta en todos los días de la prueba. Esto implica que hay una pérdida

de catequinas entre la fruta fresca y la fruta tratada osmóticamente, es decir, el proceso de deshidratación osmótica disminuye la concentración de catequinas. Así mismo, el proceso de deshidratación solar disminuye la concentración de catequinas con respecto al tratamiento de deshidratación osmótica. “El procesamiento industrial de deshidratación disminuye la concentración de agentes antioxidantes”.

Así mismo, esta disminución de catequinas se agudiza conforme pasa el tiempo de almacenamiento en una prueba de vida de anaquel acelerada a 55°C.

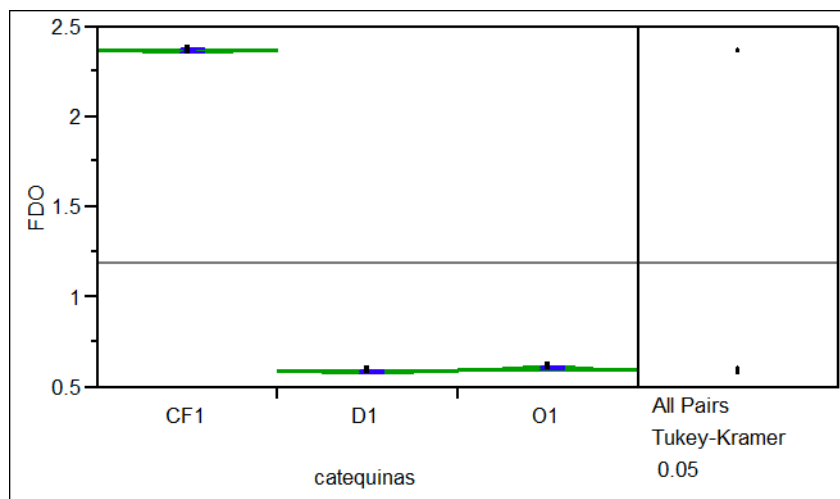


Figura 22. Catequinas. Día 1. Vida de Anaquel Acelerada.

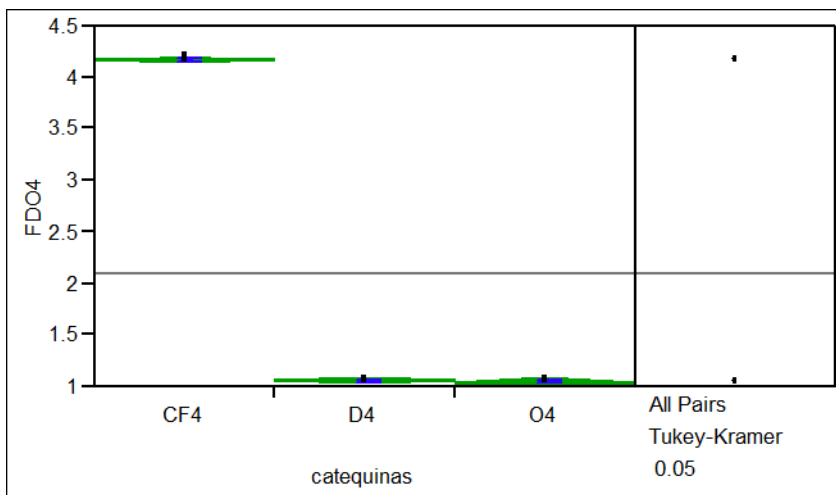


Figura 23. Catequinas. Día 4. Vida de Anaquel Acelerada.

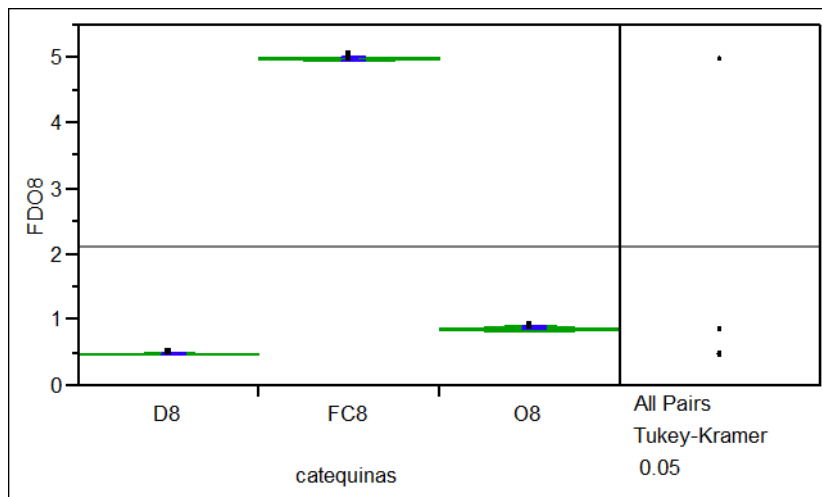


Figura 24. Catequinas. Día 8. Vida de Anaquel Acelerada

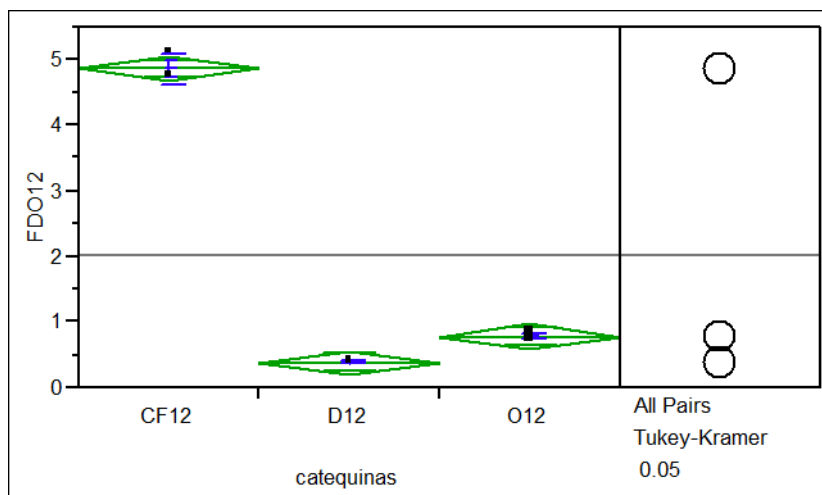


Figura 25. Catequinas. Día 12. Vida de Anaquel Acelerada.

VII.CONCLUSIONES

Se realizó un proceso de deshidratación osmótica y complementando con una deshidratación solar sobre la fruta carambola, y llevándola a una prueba de vida de anaquel acelerada a 55°C por 12 días. Durante la prueba de vida de anaquel se usaron bolsas marca Ziploc® para guardar las muestras. Se hicieron estudios en fruta fresca, fruta deshidratada osmóticamente, y fruta secada solarmente y previamente deshidratada osmóticamente.

Las condiciones de ósmosis fueron 50°Brix, 53°C y 4 horas usando sacarosa.

La fruta fresca tuvo una humedad de 90.0%, y después de la deshidratación osmótica tuvo un valor de 49.6%, y después de la deshidratación solar de 34.2%. La fruta deshidratada solarmente después de 12 días de vida de anaquel acelerada a 55°C tuvo una humedad final de 27.6%.

Por otro lado, la deshidratación osmótica incremento la cantidad de carbohidratos con respecto a la fruta fresca, y debido al uso de sacarosa como agente osmótico. No hay cambios de carbohidratos entre la fruta tratada osmóticamente y posteriormente tratada por deshidratación solar. La deshidratación osmótica genera una pérdida de fibra con respecto a la fruta fresca.

No hay cambios significativos en el análisis bromatológico de la fruta deshidratada durante las pruebas de vida de anaquel acelerada a 55°C durante 12 días. Este modelo de vida de anaquel equivalente a 6.4 meses a 25°C, y basado en el concepto de Q10.

Se detectó la presencia de agentes antioxidantes, catequinas, en fruta fresca carambola usando el método de detección de Folin-Ciocalteu.

El procesamiento industrial de secado osmótico y solar sobre la fruta fresca disminuye la concentración de catequinas. Hay una disminución entre la fruta fresca y la fruta tratada osmóticamente, y hay una disminución entre la fruta tratada osmóticamente y la fruta tratada solarmente posterior al tratado osmótico.

Hay un aumento en la concentración de catequinas al aumentar el tiempo de vida de anaquel, pero este fenómeno pudo deberse al aumento en la temperatura de almacenamiento, ya que se realizó a 55°C con respecto a una temperatura inicial de 25°C.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- ADAM-VIZI, V. 2005. Production of reactive oxygen species in brain mitochondria: Contribution by electron transport chain and non-electron transport chain sources, Antioxidants and Redox Signaling. 7(8). 1140-1149
- Almajano, María Pilar. 2009. Determinación de la actividad antioxidante de las bayas de goji. Congreso de Ciencia y Tecnología de los Alimentos. España.
- Badui Dergal S. (2006) La Ciencia de los Alimentos. México, Editorial Pearson. 509-511.
- Badui Dergal S. (2011) La Ciencia de los Alimentos en la Práctica. México, Editorial Pearson. 15-18
- Barbosa G; Vega H. 2000. Deshidratación de Alimentos, Editorial Acribia S.A, Zaragoza España. 27-35, 130-135.
- Bello Gutiérrez J. 2000. Ciencias Bromatológicas. Principios Generales. Ediciones Díaz de Santos. S.A. Madrid España. 389.
- Benezer-Benezer, M. Castro–Mercado, E. Y García Pineda, E. 2008. La producción de especies reactivas de oxígeno durante la expresión de la resistencia a enfermedades en plantas. Revista Mexicana de Fitopatología. 26(1). 56-61.
- Cambell Neila A; Reece Jane B; Molles Manuel; Urry Lisa. 2007. Biología. Séptima edición. Editorial Médica Panamericana. Madrid, España.
- Cañizares Adolfo; Bonafineosmileth; Laverde Dierman. 2006. Deshidratación de productos vegetales. Centro de Investigaciones Agrícolas del Estado Monagas. Venezuela.
- Cheynier,V, Remy,S. y Fulcrand, H. 2000, Mechanisms of anthocyanin and tannin changes during winemaking and aging. USA. 337-344.
- Cruz Fernández M, De la Garza Núñez J. Audón. 2006. La carambola, frutal con perspectivas de producción para la huasteca potosina. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México.
- Cuéllar Alba N; Durán Ramírez F. 2008. Ciencia y Tecnología e Industria de Alimentos. Editorial Grupo Latino. Bogotá Colombia. 91, 94, 98, 103, 107, 237.
- Delgado Olivares, Luis; Betanzos Cabrera, Gabriel; Sumaya Martínez, Ma. Teresa. 2010. Importancia de los antioxidantes dietarios en la disminución del estrés oxidativo. Investigación y Ciencia, Universidad Autónoma de Aguascalientes. Aguascalientes, México. 10-15.

- Dosal María Antonia. Villanueva Marcos. 2008. Curvas de calibración en los métodos analíticos. Antología de Química Analítica Experimental. UNAM, México.
- Garda M. R. 2006. Técnicas del manejo de los alimentos. Editorial Universitaria de Buenos Aires Sociedad de Economía Mixta. Buenos Aires, Argentina.
- Gasga Morales C, A. 2014. Tesis. Factibilidad tecnológica de aprovechar la energía solar térmica para deshidratar alimentos. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería. México.
- Hagerman, A.; Riedl, K.; Alexander Jones, G.; Sovik, K.; Ritchard, N.; Hartzfeld, P. and T. Riechel. 1998. High molecular weight plant polyphenolics (tannins) as biological antioxidants. J. Agric. Food Chem. Vol. 46. 1887-1892
- Hernández Guijo Jesús Miguel. 2010. Aditivos alimentarios, farmacología y terapéutica. Facultad de Medicina. Universidad Autónoma de Madrid, España.
- Marín Rodríguez Zoila Rosa. 1999. Elementos de Nutrición Humana. Costa Rica. 275.
- Muñoz Jáuregui, Ana María Muñoz Jáuregui, Ramos Escudero, D. Fernando, Alvarado Ortiz Ureta, Carlos; Castañeda Castañeda, Benjamín. 2007. Evaluación de la capacidad antioxidante y contenido de compuestos fenólicos en recursos vegetales promisorios. Rev. Sociedad Química. Perú. 142-149.
- Murillo Franco, Enrique. 2006. Actividad antioxidante in vitro de las bebidas de frutas. Instituto de Alimentación y Nutrición. Panama.
- Ocampo Muñoz Jaime Andrés. Tesis. 2003. Determinación de la vida de anaquel del café soluble elaborado por la empresa Decafé S.A. y evaluación del tipo de empaque en la conservación del producto. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería y Arquitectura Ingeniería Química. Colombia.
- Ordúz R Javier Orlando; Rangel M, Jorge Alberto. 2002. Frutales tropicales y potenciales para el piedemonte llanero. Colombia. 72-73.
- Paladino, Silvia Cristina. 2008. Actividad antioxidante de los compuestos fenólicos contenidos en las semillas de la vid (*Vitis vinífera L.*). Argentina.
- Palomar Antonio. 2006. La dispensa de Hipócrates: los poderes curativos de los alimentos. Tlalaparta, 4ª. Edición. España.
- Pérez Cabrera Laura Eugenia. Tesis. 2003. Aplicación de métodos combinados para el control del desarrollo del pardeamiento enzimático en pera mínimamente procesada. Valencia, España. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Tecnología de Alimentos. España.

- Rivas Gonzalo, J.C.; García Alonso, M. 2002. Flavonoides en alimentos vegetales: estructura y actividad antioxidante. *Nutrición y bromatología*. Facultad de Farmacia. Universidad de Salamanca. España. 31-38.
- Robbins, R. 2003. Phenolic acids in foods: an overview of analytical methodology. *J. Agric. Food Chem.* Vol. 51. 2866-2887.
- Robles Sánchez, Maribel; Gorinstein Shela; Martín Belloso, Olga; Astiazarán García, Humberto; Gónzález Aguilar, Gustavo; Cruz Valenzuela, Reinaldo. 2007. Frutos tropicales mínimamente procesados: potencial antioxidante y su impacto en la salud. 227-231.
- SAGARPA. 2009. "Tecnologías para deshidratación de Productos Agrícolas. Una alternativa de Valor Agregado". México.
- Staszewski Von Mariana. 2011. Impacto de la interacción entre polifenoles de té verde y proteínas del lacto suero sobre las propiedades biológicas y funcionales de las mezclas. Universidad de Buenos Aires. Química Industrial. Buenos Aires. Argentina.
- Steele, B; Scully A; Zerdin K. 2006. Research snapshot: Accelerated shelf life testing. The Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO). Australia.
- Sotomayor Arroyo, Cleotilde. 2013. Tesis. Deshidratación osmótica a base de sacarosa seguida de una deshidratación solar en la fruta carambola (*Averrhoa carambola* L). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México.
- Tung, M; Brito, I; Yada, S. 2001. Packaging considerations. Food shelf life stability. USA. 3-36.
- Ulloa José Armando. 2011. Deshidratación de Alimentos. Área de Ciencias Biológico Agropecuarias y Pesqueras. Universidad Autónoma de Nayarit. México.
- Wollgast J, Anklam E. 2000. Review on polyphenols in *Theobroma cacao*: changes in composition during the manufacture of chocolate and methodology for identification and qualification. *Food Res.* 423-477.