



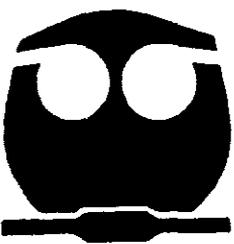
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA DETERMINACION DE LA VIDA DE ANAQUEL EN JUGOS CITRICOS

TRABAJO MONOGRAFICO DE ACTUALIZACION QUE PARA OBTENER EL TITULO DE: QUIMICA DE ALIMENTOS PRESENTA: NELLY CID ROCHA

284289



MEXICO, D. F.



EXAMENES PROFESIONALES FACULTAD DE QUIMICA

2000



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

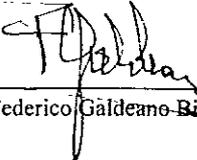
JURADO ASIGNADO

Presidente: Prof. Federico Galdeano Bienzobas
Vocal: Prof. Maria de Lourdes Gómez Ríos
Secretario: Prof. Miguel Angel Hidalgo Torres
1er. Suplente: Prof. Luis Orlando Abrajan Villaseñor
2do. Suplente: Prof. Ruth Villaseñor Gutierrez

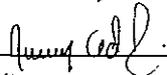
LUGAR DONDE SE DESARROLLO EL TEMA

Biblioteca de Facultad de Química
Ciudad Universitaria

ASESOR DEL TEMA:


I.Q. Federico Galdeano Bienzobas

SUSTENTANTE:


Nelly Cid Rocha

AGRADECIMIENTOS

A mi madre, la Sra. Susana Rocha Hernández

A mis hermanos Lety y José Luis

A mi novio Claudio

A toda mi familia, incluyendo a mis sobrinitos Vale y Luisito

A mis amigos

A todas aquellas personas a quienes tengo un cariño especial

A quienes han creído en mí

Y por supuesto a Dios por permitirme vivir este momento.

A mi asesor de tesis el I.Q. Federico Galdeano

A los miembros de mi jurado los profesores Lulú Gómez y Miguel Angel Hidalgo

A la Universidad Nacional Autónoma de México

Y en particular a su Facultad de Química.

INDICE

I. Introducción.....	1
II. Objetivos.....	2

Capítulo III	
Generalidades sobre los cítricos.....	3
3.1 Introducción.....	3
3.2 Principales países productores.....	3
3.3 Clasificación de los frutos cítricos.....	4
3.4 Fisiología de los frutos cítricos.....	4
3.5 Productos obtenidos a partir de frutos cítricos.....	4
3.6 Composición química de los jugos cítricos.....	4
3.6.1 Azúcares.....	5
3.6.2 Ácidos.....	6
3.6.3 Pectinas.....	6
3.6.3.1 Tipos de pectinas.....	7
3.6.3.2 Pectinesterasa.....	7
3.6.4 Vitamina C.....	8
3.6.4.1 Estabilidad de la vitamina C en la fruta fresca.....	10
3.6.5 Otras vitaminas.....	12
3.6.6 Carotenoides.....	13
3.6.7 Antocianinos.....	14
3.6.8 Flavonoides.....	14
3.6.9 Limonina.....	14
3.7 Componentes aromáticos.....	15
3.7.1 Aceite esencial decorteza.....	15
3.7.2 Esencia de naranja.....	16
3.8 Otros componentes.....	17
3.8.1 Lípidos.....	17
3.8.2 Componentes nitrogenados.....	17
3.8.3 Componentes minerales.....	18
3.9 Usos industriales.....	18

Capítulo IV	
Elaboración de jugos cítricos.....	20
4.1 Introducción.....	20
4.2 Jugo pasteurizado.....	20
4.2.1 Valoración de la madurez de la fruta.....	20
4.2.2 Recepción y almacenamiento de la fruta.....	21
4.2.3 Inspección de la fruta para proceso.....	22
4.2.4 Lavado.....	22
4.2.5 Extracción.....	22

4.2.5.1 Extractor tipo FMC	22
4.2.5.2 Extractor Polycitrus.....	23
4.2.6 Operación de acabado.....	23
4.2.7 Desaereación.....	24
4.2.8 Pasteurización.....	24
4.2.8.1 Pasteurización tipo flash.....	25
4.2.8.2 Innovaciones en pasteurización.....	25
4.2.9 Envasado.....	25
4.3 Jugo no pasteurizado.....	26
4.4 Jugos obtenidos a partir de concentrado.....	26
4.4.1 Jugo mantenido en frío.....	27
4.4.2 Jugo enlatado.....	27
4.4.3 Jugo asépticamente empacado.....	28
4.4.4 Jugo concentrado congelado.....	28
4.5 Diagrama de flujo. Operaciones Unitarias.....	28
4.6 Innovaciones tecnológicas en proceso.....	29

Capítulo V

Pérdida de calidad de los jugos cítricos durante su vida de anaquel.....	30
5.1 Introducción.....	30
5.2 Pérdida de nutrientes durante el almacenamiento.....	31
5.2.1 Vitamina C.....	31
5.2.2 Vitaminas del complejo B.....	37
5.3 Desarrollo de malos sabores.....	39
5.3.1 Causas de origen microbiano.....	39
5.3.1.1 Pruebas microbiológicas.....	44
5.3.2 Causas de origen químico.....	45
5.3.2.1 Compuestos que contienen azufre.....	47
5.3.2.2 Productos de descomposición de aceites esenciales.....	48
5.3.2.3 Compuestos fenólicos.....	49
5.3.2.4 Reacciones de oscurecimiento no enzimático.....	50
5.4 Desarrollo de colores atípicos.....	52
5.4.1 Estabilidad del color.....	52
VI. Conclusiones y Recomendaciones.....	55
VII. Bibliografía.....	58

I. INTRODUCCION

Los jugos cítricos han sido ampliamente comercializados en todo el mundo. Su apreciable sabor y color han sido algunas de las características que los ha llevado a tener altos índices de aceptación en la población mundial, en particular uno de los jugos con mayor demanda es el jugo de naranja en sus diferentes presentaciones.

Una de las características nutrimentales de mayor importancia dentro del grupo de los cítricos es su alto contenido en vitamina C, y son considerados fuente primaria en la dieta para proporcionar las cantidades necesarias de este importante nutriente.

El alto índice de industrialización de los jugos cítricos (naranja, mandarina, toronja y limón, principalmente) ha llevado a la industria procesadora a elaborar una gran cantidad de productos en el mercado que difieren en cuanto a procesamiento (dependiendo de la materia prima), tipo de producto, presentación (envase), etc.

La necesidad de preservar las características nutrimentales y sensoriales de todos estos productos durante su vida de anaquel, resulta una tarea nada fácil, debido a la gran cantidad de variables que influyen sobre éstas características, aunado a la poca estabilidad que presenta la vitamina C y los constituyentes que brindan el sabor y color de los cítricos.

El presente trabajo surge de la necesidad de conocer todas aquellas variables que influyen sobre la vida de anaquel de los jugos cítricos ,así como el impacto que tienen sobre las características de calidad de estos productos.

II. OBJETIVOS

Objetivo general

Realizar un estudio bibliográfico que permita identificar cuales son los factores que tienen mayor influencia sobre la vida de anaquel de los jugos cítricos, y concluir acerca de la importancia de ellos y su repercusión sobre las características de calidad de dichos jugos.

Objetivos específicos

Realizar una revisión bibliográfica relacionada con diversos aspectos de los cítricos como son: química, procesamiento y variables que influyen en la vida útil de los jugos durante su almacenamiento y distribución.

Discutir la importancia de mantener las características de calidad de los jugos cítricos durante su comercialización, así como enfatizar sobre las variables que ejercen mayor influencia sobre el deterioro.

Proponer recomendaciones a partir de la información obtenida, que permitan generar jugos cítricos que puedan mantenerse el mayor tiempo posible con la menor pérdida de calidad.

3.1 Introducción

Se considera que los cítricos son originarios de una vasta región comprendida por la Conchinchina, Malayo y partes adyacentes de Asia.

El conocimiento sobre la utilización de sus frutos, así como también sobre el cultivo de los árboles se extendió desde China hasta India, pasando a través de Persia y Palestina hasta conocerse en África del Norte y Europa en las áreas adyacentes a la cuenca del Mediterráneo.

Las primeras especies conocidas fueron la cidra, naranjo agrio, y limonero. Estas fueron introducidas en Europa alrededor del año 1200.

Cuando Cristóbal Colón realizó sus primeros viajes hacia América, llevó consigo semillas de naranjo dulce. En esa época los cítricos ya estaban distribuidos en los países Mediterráneos, especialmente en España, Italia y Grecia.

Presumiblemente, los portugueses fueron quienes introdujeron el naranjo dulce en Europa desde la India y China, durante los viajes que realizaban a través del Cabo de Buena Esperanza.

El mandarino pasó al Japón, donde su cultivo adquiere tal magnitud que se ubica en el primer lugar entre los países productores.

En 1493, durante el segundo viaje de Colón, se introducen semillas de Agrios en las islas la Española (Santo Domingo) y La Isabela (Islas Bahamas). Posteriormente se difunde hacia Cuba y México hacia 1517.

En 1530 los portugueses introducen el naranjo en Brasil cuando se lanzan a colonizar el vasto territorio del Amazonas.

Comúnmente se considera que los primeros agrios se introducen en la península de Florida en 1556. Por su parte, los jesuitas difundieron el cultivo del naranjo y limoneros con material proveniente del Paraguay, Chile y Perú, alrededor del año 1570.

Ya en 1750 existían importantes huertos en Paraguay, Brasil, Perú, y Argentina⁽¹⁶⁾

3.2 Principales países productores

El cultivo de los cítricos está ubicado en el mundo entero dentro de dos grandes fajas delimitadas por los paralelos 20° y 40° en ambos hemisferios.

Los países citricolas ubicados en el hemisferio norte clasificados por continentes son:

América del Norte: Estados Unidos de Norte América y México

Europa: España, Italia, Grecia

África: Marruecos, Argelia, Túnez, Egipto

Asia: Israel, Irak, Líbano, Siria, Turquía, Chipre, Persia, Pakistán, India, China, Japón.

En el hemisferio Sur:

América del Sur: Brasil, Paraguay, Bolivia, Uruguay, Chile, Argentina

África: Sudáfrica

Oceania: Australia, Nueva Zelanda

Pocos países fuera de estas dos franjas de los 20° y 40° producen cítricos, estos son:

Perú, Costa Rica, Panamá, Cuba, Rodesia, Taiwan, Indonesia, Malaya, Islas Filipinas⁽¹⁶⁾

3.3 Clasificación de los frutos cítricos

Las especies más importantes de cítricos son las siguientes:

- a) Las naranjas dulces (*Citrus sinensis*) en sus variedades (cultivars), Valencia late, el grupo de las Navel, Shamouti y otras muchas.
- b) Las mandarinas (*Citrus reticulata* e híbridos) Satsuma, Clementina, etc.
- c) Los limones (*Citrus limon*) Fino, Lisbón, Eureka, Verna, etc.
- d) Las toronjas (*Citrus paradisi*) Marsh-seedles, Red Blush, Ruby, etc. Y
- e) Las naranjas amargas (*Citrus aurantium*) que se utilizan principalmente para la fabricación de jaleas y mermeladas.

3.4 Fisiología de los frutos cítricos

1.- El “flavedo” es el tejido exterior que está en contacto con la epidermis y en él abundan vesículas, que contienen lípidos y aceites esenciales.

2.- Debajo del flavedo está el “albedo”, que es un tejido esponjoso, blanco y celulósico. El mismo tejido forma el corazón o eje central del fruto, y ambos proporcionan al fruto los materiales nutritivos.

3.- El endocarpio es la parte comestible de los cítricos y está formado por los carpelos o gajos, que están compuestos por vesículas que contienen el jugo. Al prensar estas vesículas, se separa el jugo.

4.- Las semillas, de cubierta dura lignocelulósica, contienen una importante cantidad de grasas.

3.5 Productos obtenidos a partir de frutos cítricos

De los frutos cítricos pueden obtenerse una infinidad de productos de gran utilidad, como lo son los aceites esenciales, alcoholes, terpenos, pectinas, pigmentos naturales, *forrajes para ganado, etc.*

Pero de entre todos ellos, uno de los productos más apreciados es el jugo que puede obtenerse a partir de estos frutos. El apreciado sabor y aroma de los cítricos, además de sus propiedades nutritivas, los ha convertido en productos altamente comercializados en todo el mundo.

Por tanto el jugo, es uno de los productos más importantes obtenidos a partir de estos frutos.

3.6 Composición química de los jugos cítricos

Uno de los factores primarios de calidad en los jugos cítricos es el contenido en sólidos disueltos, que varía según la variedad, el grado de madurez, y las técnicas de cultivo.

En el jugo los componentes más abundantes son los azúcares y el ácido cítrico, que suman casi el total de los sólidos solubles.

En la maduración, el contenido en azúcares aumenta y el de ácidos disminuye.

En la tabla ¹ se dan algunas cifras que son normales para frutos maduros.

Tabla 1

Composición de jugos cítricos

	Naranja	Mandarina	Toronja	Limón
Sólidos Solubles (°Bx)	9-15	8-13	6-12	8-10
Azúcares (g/100 ml)	5-12	7-12	5-8	1.3-5
Acidos ¹ por 100	0.5-3.5	1-3	1.5-5	5-9
pH	3.3-3.8	3.2-3.6	2.8-3	2.2-3
Vitamina C ²	25-80	30-50	25-50	30-70

¹ Gramos de ácido cítrico anhidro por 100 ml.

² Miligramos por 100 ml.

Fuente: Primo, 1979.

El interés dietético de los cítricos se debe, sobre todo, a su contenido en vitamina C.

3.6.1 Azúcares

Los principales azúcares, en los jugos de naranja, son: sacarosa, glucosa y fructosa, que suman alrededor del 75% de los sólidos solubles totales, estando frecuentemente equilibrados los reductores y la sacarosa. También existen pequeñas cantidades de galactosa_(1,130).

Estos son también los azúcares de los jugos de toronja y limón. En la toronja, el contenido en sacarosa es menor que el contenido en azúcares reductores, y, en el limón, la proporción de sacarosa es mucho menor ⁽⁹⁴⁾, como puede observarse en la tabla ².

Tabla 2

Azúcares en zumos de cítricos (por 100)

	Totales	Reductores	No reductores
Naranja	5-10	3-5.8	2.5-5.3
Pomelo	5-8	2.2-5	2-3
Limón	0.8-3.8	0.3-0.6	0.7-3.3

Fuente: Primo, 1979.

3.6.2 Acidos

En los limones son los componentes más abundantes. El ácido cítrico es el más característico y predominante.

En estudios realizados por cromatografía en columna de sílica gel se ha encontrado que cerca del 75.4% al 96.9% es citrato del total de ácidos recuperados (143).

En segundo lugar se encuentra el ácido málico y, luego, otros en pequeña proporción. El ácido galacturónico libre aparece, algunas veces, como producto de degradación de las pectinas.

La acidez de los jugos cambia, según la variedad, la zona, el cultivo y la maduración, entre límites muy amplios, como se ve en la siguiente tabla.

Tabla 3
Variabilidad de la acidez

	Naranja	Limón	Pomelo
Acidez ¹	0.5-3	5-8.5	1.5-5
Acido Cítrico ²	65-70	90-95	85-90
Acido Málico ²	15-20	4-6	2-3

¹ Expresada en ácido cítrico anhidro por 100 ml de jugo

² Expresada en porcentaje de los ácidos totales

Fuente: Primo, 1979.

Los ácidos están en forma libre o como sales inorgánicas (94).

La acidez titulable de jugos de frutas cítricas juega un rol vital en la determinación de la madurez legal de la fruta (46).

3.6.3 Pectinas

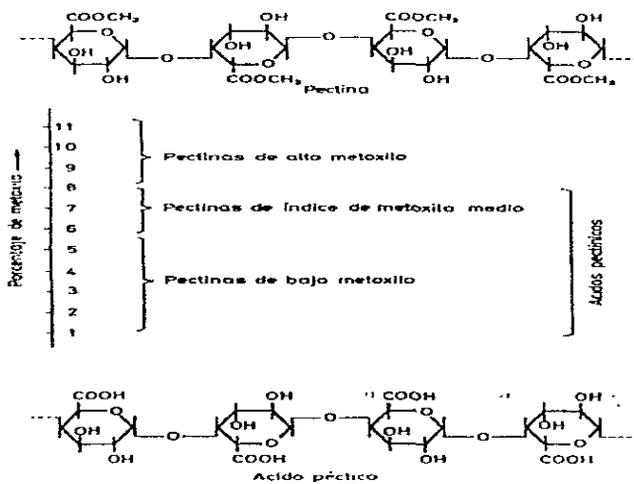
La turbiedad de un jugo se mide por la inversa del porcentaje de transmisión de la luz y es un factor de calidad, ya que los jugos de naranja clarificados no tienen valor comercial. La turbiedad depende de los sólidos en suspensión. En la fabricación del jugo, los exprimidores industriales incorporan una gran cantidad de pulpa. El contenido final de pulpa influye mucho sobre las propiedades del jugo. La pulpa en suspensión está formada, principalmente, por tejido desintegrado, que contiene fibra celulósica, pectinas y por partículas lipoides, que contienen carotenoides y aceites esenciales. Otra porción de pectinas está disuelta en el jugo y contribuye a la viscosidad y al "cuerpo" del mismo. La turbiedad está estabilizada por la cantidad y estado de no degradación de las pectinas presentes. La viscosidad depende de la concentración, de el grado de polimerización de la pectina, del pH y de las sales existentes. La proporción de pectinas totales depende de la presión usada en la expresión del jugo y de la pulpa residual, después del tamizado.

3.6.3.1 Tipos de pectinas

La pectina total puede separarse en 3 fracciones:

- La pectina soluble en agua. Es la pectina de alto metoxilo.
- La pectina que ha sufrido la hidrólisis de una gran proporción de los grupos de éster metílico. Es la pectina de bajo metoxilo. Es insoluble en agua, pero se hace soluble en presencia de secuestradores de calcio. Cuando la proporción de grupos carboxilo esterificados es nula se llama ácido péctico.
- Una fracción de pectina está unida a la celulosa en forma insoluble (protopectina), pero puede extraerse con bases fuertes.

Gráfica 1
Tipos de pectinas



Fuente: Primo, 1979.

3.6.3.2 Pectinesterasa

En los cítricos, la enzima más importante es la pectinesterasa y, prácticamente, la única considerable en el jugo de naranja.

La mayor proporción de pectina y de pectinesterasa está en la pulpa.

En el jugo natural produce la sedimentación de la pulpa en suspensión, produciendo grupos $-COOH$ libres, éstos forman sales insolubles, con los iones Ca^{++} existentes en el jugo, aglomerando las partículas en una red tridimensional. Esto se traduce en el jugo natural, en la precipitación de la pulpa fina y clarificación.

En el jugo concentrado 4:1 ó 6:1, la hidrólisis de los grupos de éster metílico, producida por la pectinesterasa, da lugar a la gelificación de la masa, que pierde su fluidez y aceptación comercial. En el jugo concentrado, la red tridimensional es causa de la gelificación, al ser dicha red apretada y retener, entre sus mallas, a las moléculas de agua, que pierde su movilidad, formándose un gel sólido.

Ambos fenómenos, tan distintos obedecen a la misma causa: la formación de ácidos pectínicos (95).

La clarificación puede evitarse, impidiendo la acción de la pectinesterasa, o la formación posterior de sales cálcicas.

La pectinesterasa se inactiva mediante la pasteurización del zumo.

Resulta, pues, evidente la necesidad de controlar rigurosamente la pasteurización de los jugos, vigilando especialmente que la actividad pectinesterásica residual sea nula.

La valoración de la pectinesterasa residual, después de la pasteurización, es de gran importancia para asegurar la permanencia de la calidad del jugo durante su transporte y almacenamiento.

Como actividad de pectinesterasa, se considera el número de miligramos de metoxilo desdoblados por el enzima, por gramo de sólidos solubles o grados Brix.

$$\text{Actividad P.E.} = \frac{\text{Miligramos de metoxilo}}{\text{Gramos de muestra} \times \text{°Brix}/100}$$

3.6.4 Vitamina C

La calidad nutricional de los jugos cítricos es esencialmente sinónimo con el contenido de vitamina (19).

Los niveles de vitamina C son influenciados por las características del suelo, madurez del fruto, posición del fruto en el árbol, variedad y especie, parámetros de proceso usados para los diferentes productos, tipo de contenedor para mantener el producto procesado, y el almacenamiento (78).

Los árboles de cítricos crecen sobre terrenos que poseen muy diversas propiedades que van desde los fértiles hasta los infértiles, desde suelos ácidos hasta alcalinos (pH=5.0-8.5), y desde suelos bien provistos de agua hasta los deficientes en ella (100).

El abastecimiento de nutrientes esenciales cuando la planta está en proceso de crecimiento es realizado a través de la fertilización. De los 15 elementos reconocidos como esenciales para el crecimiento de cítricos (carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, boro, hierro, zinc, manganeso, cobre y molibdeno) sólo unos cuantos tienen un efecto directo sobre el contenido de vitamina C.

Diversos trabajos han reportado una relación inversa entre la cantidad de nitrógeno aplicada a los árboles de toronja y la cantidad de vitamina C encontrada en su jugo (48,125,126).

Niveles reducidos de vitamina C en jugos de naranjas (54,55), limones (52,67) y mandarinas (67) han resultado también de la aplicación de elevados niveles de nitrógeno en la fertilización de las cosechas.

El más notable efecto del fósforo cuando son aplicadas en cantidades mayores a las necesarias para una cosecha normal, resulta en la reducción del contenido de vitamina C (122).

La influencia del potasio en la fertilización tiene un mayor efecto sobre la calidad de la fruta que sobre el rendimiento de la cosecha.

Concentraciones incrementadas de vitamina C en jugos de naranjas (23,54,98), toronjas (124,127) y limones (28) han resultado de la aplicación de cantidades mayores de potasio a los árboles de estos frutos.

Los factores climáticos (principalmente la temperatura) tienen una fuerte influencia sobre la calidad y composición de los frutos cítricos.

En un estudio controlado (101) mostraron que la fruta contenía más vitamina C cuando fue cultivada bajo temperaturas templadas (20-22°C día y 11-13°C noche) que las cultivadas bajo temperaturas calurosas (30-35°C día y 20-25°C noche). Como regla general, aquellas condiciones ambientales que incrementen la acidez del fruto, también incrementará los contenidos de vitamina C.

Aunque la luz no es esencial para la síntesis de vitamina C, la exposición de los frutos cítricos a los rayos del sol durante los procesos de crecimiento tiene una influencia definitiva sobre la cantidad de vitamina C formada, ya que la fotosíntesis provee hexosas a partir de las cuales la vitamina C es sintetizada.

Se determinaron los contenidos de vitamina C de cada fruto en un árbol de naranja Valencia (123) y se encontró que la fruta que crece del lado norte y noreste contiene menor cantidad de vitamina C que la fruta que crece orientada hacia el sur. Se concluyó entonces que la fruta expuesta a la máxima cantidad de sol, contiene las mayores cantidades de vitamina.

Diversos estudios han concluido que los contenidos de vitamina C de naranjas, toronjas y mandarinas decrecen conforme avanza la maduración. La fruta inmadura contiene la más alta concentración de vitamina C (miligramos/ mililitro de jugo) (41,42,43).

No es sorprendente que la gran mayoría de los investigadores reporten amplios rangos de niveles de vitamina C de los diferentes frutos cítricos (los principales son: naranjas dulces, toronjas, mandarinas, limones y limas)

En estudios conducidos en Florida con jugos de naranja se demostró que los jugos hechos a partir de naranjas producidas en la estación de noviembre a enero (llamada naranja Hamlin) y los jugos provenientes de la estación de enero a marzo (llamada naranja Pineapple) contenían más vitamina C que los producidos con naranjas de la estación de abril a julio (llamada naranja Valencia) (30,80,134).

En estudios realizados también con naranja (20) fueron analizadas 29 variedades cultivadas en Israel y se encontró que la naranja Pineapple contenía el más alto

contenido de vitamina C (78 mg/mL de jugo) y la variedad Shamouti presentó el más bajo contenido de vitamina C (51 mg/mL de jugo).

En cuanto a toronja se refiere los rangos que se han reportado van de 25 a 60 mg de vitamina C/ 100 mL de jugo de toronja.

La toronja de la variedad Duncan ha mostrado tener el más alto contenido de vitamina C y la variedad Marsh Seedless el más bajo contenido de vitamina C (20).

Los valores reportados para mandarinas, varían en cuanto a las variedades estudiadas, para la mandarina cultivada en Estados Unidos el rango es de 15-55 mg de vitamina C/ 100 mL de jugo, para la cultivada en Europa el rango es de 20-60 mg de vitamina C/ 100 mL de jugo y para la cultivada en Japón 20-50 mg de vitamina C/ 100 mL de jugo.

Los valores reportados para limones y limas van de 20-60 mg/100 mL de jugo y cerca de 15-45 mg/ 100 mL de jugo, respectivamente.

En base a la gran mayoría de los estudios podemos concluir que las naranjas son las más ricas en vitamina C, seguidas por las toronjas, limones, mandarinas y limas.

Aunque los jugos de frutas cítricas son reconocidos como una fuente importante de vitamina C para la nutrición humana, existen otras partes del fruto que también contienen esta vitamina. Estas otras partes no son reconocidas en nutrición porque son generalmente compuestos no digeribles (flavedo, albedo, pulpa), en realidad, solo cerca de una cuarta parte de la vitamina C contenida en frutos cítricos es encontrada en el jugo.

3.6.4.1 Estabilidad de la vitamina C en la fruta fresca

No fue sino hasta el siglo XX cuando se tomo conciencia de la importancia de mantener el ácido cítrico durante el transporte, almacenamiento y distribución de la fruta.

Extensivos estudios fueron enfocados hacia la retención del ácido ascórbico en frutos cítricos.

Pérdidas ligeramente pequeñas de vitamina C fueron encontradas en naranjas y toronjas almacenadas por 5 meses a 5.6°C (33).

Otros estudios simularon condiciones de distribución comercial y la pérdida de vitamina C estuvo dentro del rango de 0-7% durante almacenamiento de 4 a 8 semanas bajo diferentes condiciones de refrigeración y temperaturas de almacenamiento.

En estudios hechos con mandarinas se estudió el efecto de la temperatura (temperaturas= 0.5, 3.8, 12°C) sobre la retención de vitamina C. Se observó que la mayor y más rápida pérdida (cerca del 30-40% de la vitamina C original) ocurrió en la fruta mantenida a 8 y 12°C.

Los limones son normalmente colectados de la cosecha por su tamaño más que por su color o madurez, y son almacenados por diversos periodos dependiendo de las condiciones en las que se encuentren y de su demanda en el mercado. La recolección de limones en su estado inmaduro es ventajosa porque la fruta requiere condiciones de almacenamiento para producir la máxima cantidad de jugo y desarrollar un buen color y sabor.

La temperatura aquí también juega un papel muy importante ya que estudios realizados en almacenamiento muestran que los limones almacenados bajo 24°C perdieron considerables cantidades de vitamina C mientras que los mantenidos bajo 13°C mantuvieron casi la misma cantidad de vitamina C en el jugo (25).

Todos los estudios concuerdan con la pérdida de vitamina C si el almacenamiento es a altas temperaturas. El rango de temperaturas y la cantidad de vitamina perdida dependerá en particular del tipo de fruta en estudio.

La dosis diaria recomendada (R.D.A) por el Food and Nutrition Board del National Research Council de EE.UU es de 45 mg. Un vaso de jugo suministra unos 80 mg (94) En la fabricación industrial se adoptan precauciones cuidadosas para evitar la degradación del ácido ascórbico: desaireación del zumo al vacío, pasteurización rápida, concentración a temperaturas poco superiores a la ambiental, conservación a bajas temperaturas, etc.

A continuación se presentan datos acerca del contenido de vitamina C en frutos cítricos.

Tabla 4

Contenido de Vit. C en frutos cítricos (mg/100g)

Fruto	Zumo
Naranjas	40-80
Limonos	30-40
Pomelos	40-60

Fuente: Primo, 1979

Tabla 5

Vitaminas en jugo de naranja

Vitamina	Cantidad ($\mu\text{g}/100\text{g}$)
Tiamina	50-100
Riboflavina	20-40
Piridoxina	25-50
Nicotinamida	150-300
Acido Pantoténico	150-250
Acido Fólico	40-200
ι -Inositol	100-150
Tocoferoles	100-125

Fuente: Primo, 1979.

La proporción de ácido fólico es interesante, porque un vaso de jugo puede suministrar el 25% de la dieta diaria recomendada (R.D.A.= 400 μg). El ácido fólico escasea en muchas dietas y se destruye en la cocción de los alimentos. Su presencia en las naranjas, por su consumo en fresco, es importante.

3.6.6 Carotenoides

La mayor cantidad de carotenoides está en el flavedo y aumenta con la maduración, al mismo tiempo que se degrada la clorofila.

El consumidor prefiere el fruto cuya carne posee un color anaranjado más intenso, al cual asocia la buena calidad y la plena madurez. Además, el color interno del fruto está relacionado con el del jugo de ellos obtenido y su contenido en carotenoides, el cual es primordial para la industria cítrica.

En el endocarpio, aumenta la cantidad de carotenoides durante la maduración, lo que mejora el color del jugo.

La composición de la fracción de carotenoides de los cítricos es muy compleja. En principio pueden dividirse en tres grupos:

- a) Hidrocarburos (carotenos, principalmente β -caroteno)
- b) Alcoholes y epóxidos y
- c) Esteres (94).

En la siguiente tabla se encuentran los componentes más importantes. Se han identificado alrededor de 40 compuestos (24).

Tabla 6

Carotenoides en cítricos

Fitoeno	Zeaxantina	β -Apo-8-carotenal
Fitoflueno	Anteraxantina	Citraurina
β -Caroteno	Violaxantina	Licopeno
<i>c</i> -Caroteno	Luteoxantina	Cantaxantina
Criptoxantina	Auroxantina	

Fuente: Primo, 1979.

Esteres de ácidos grasos (caprato, laurato, miristato, palmitoleato, palmitato, oleato) de β -criptoxantina han sido los constituyentes carotenoides mayores en el jugo concentrado de mandarina (141).

La adición de carotenoides sintéticos permite mejorar el color pero está limitada por las legislaciones.

La adición de β -caroteno es la más general. Esta adición trae consigo un incremento de la relación carotenos/carotenoides totales en el jugo adulterado (94).

3.6.7 Antocianinos

En las naranjas sanguíneas, además de los carotenoides, que dan el color anaranjado, existen manchas rojas en la piel y pigmentación roja en la pulpa y el jugo, que son debidas a antocianinos.

3.6.8 Flavonoides

Otros flavonoides son componentes importantes en los cítricos, por la gran diversidad que en ellos se encuentra, por las propiedades que comunican a los frutos y por su valor para la salud. En las naranjas, mandarinas y limones, el más abundante es la hesperidina, mientras que en el pomelo y en la naranja amarga es la naringina.

Algunos flavonoides tienen fuertes sabores amargos. El más significativo es la naringina del pomelo y de la naranja amarga.

Los flavonoides de los cítricos y de otros frutos se denominan bioflavonoides, se consideran como factores vitamínicos que corrigen la permeabilidad capilar y se les atribuye una acción sinérgica con la vitamina C (94).

En estudios con animales *in vitro*, se ha demostrado que los flavonoides tienen actividades antioxidantes y antimutagénicas, estos estudios recientes también sugieren que pueden reducir el riesgo de una enfermedad cardiovascular (91).

3.6.9 Limonina

La presencia de limonina impide el uso extenso de las naranjas navel, en la industria del jugo, ya que el jugo recién exprimido tiene un agradable sabor, pero a los pocos minutos, comienza a adquirir un sabor amargo debido a la limonina. El umbral de detección de la limonina, en el jugo, está entre 0.5 y 30 mg/litro, según los individuos.

También está en el pomelo, donde se suma al sabor amargo de la naringina y otros flavonoides (94).

La limonina es una de las principales causas del “amargor” en jugos procesados. Nuevas posibilidades tecnológicas están siendo utilizadas para remover este sabor de los jugos cítricos usando resinas adsorbentes (poliestireno, por ejemplo) (49).

3.7 Componentes aromáticos

3.7.1 Aceite esencial de corteza

En él se han identificado más de 100 componentes. Los más interesantes se relacionan en la tabla.

El componente más abundante del aceite esencial de corteza de naranja es el limoneno (95%), hidrocarburo terpénico monocíclico. Sin embargo, los componentes que dan la calidad y el aroma son oxigenados, principalmente aldehídos y cetonas, alcoholes y ésteres.

Tabla 7

Componentes más importantes del aceite esencial de corteza de naranja.

Hidrocarburos:

Limoneno	ρ -Cimeno	Sabineno
β -Elemeno	Terpinoleno	Canfeno
Farneseno	α -Copaeno	Mirceno
Cariofileno	β -Copaeno	α -Felandreno
Valenceno	α -Tuyeno	α -Pinoeno

Alcoholes:

Linalool	Farnesol	Geraniol	n-Nonanol
Nerol	Elemol	n-Hexanol	n-Decanol
α -Terpineol	Citronelol	n-Octanol	

Aldehídos:

Citral (neral+geranial)	Octanal	2-Dodecenal
Citronelal	Nonanal	2-Decenal
Decanal	Decanal	Hexil-nonil-acroleína
α -Sinensal	Undecanal	Perillaldehído
β -Sinensal	Dodecanal	
Etanal	2-Hexenal	

Cetonas:

Carvona	Piperitenona	2-Decanona
Metilheptenona	Nootkatona	Acetona

Ácidos:

Octanoico	Acético
-----------	---------

Esteres:

Acetato de octilo	Acetato de linalilo
Acetato de citronelilo	Butirato de geranilo
Acetato de geranilo	Butirato de etilo

Fuente: Primo, 1979.

3.7.2 Esencia de naranja

Se denomina esencia de naranja a la fracción volátil, acuosoluble, que se recupera en la evaporación del jugo. En la esencia de naranja se han identificado cerca de 150 compuestos. Los más importantes se citan a continuación.

Tabla 8
Componentes más importantes de la esencia de naranja

Hidrocarburos:

δ -Limoneno	γ -Terpineno	Terpinoleno
Mirceno	ρ -Cimeno	α -Terpineno
α -Pinoeno	Valenceno	
β -Pinoeno	Δ^3 -Careno	

Alcoholes y epóxidos.

Citronelol	Propanol	Decanol
Geraniol	Butanol	2-metil-3-butén-1-ol
Trans-carveol	Isobutanol	1-Pentan-3-ol
Linalol	Pentanol	3-Hexen-1-ol
Nerol	Isopentanol	3-Hepten-1-ol
α -Terpineol	Hexanol	1-2-Epóxido de limoneno
Metanol	Heptanol	1-2-Epóxido de linalol
Etanol	Nonanol	

Aldehidos:

Geranial	Hexanal	Etil-butiraldehído
Neral	Octanal	Furfural
Citronelal	Nonanal	2-Hexenal
Perillaldehído	Decanal	2-Octenal
Acetaldehído	Undecanal	
Butiraldehído	Benzaldehído	

Cetonas:

Carvona	Acetona	Etilvinilcetona
Nootkatona	Butanona	(1-penten-3-ona)
Piperitenona	Metilheptenona	

Ácidos:

Fórmico	Valeriánico	Octanoico
Acético	Isovaleriánico	Decanoico
Propiónico	Caproico	
Butírico	Isocaproico	

Esteres:

Acetato de linalilo	Butirato de metilo
Acetato de citronelilo	Butirato de etilo
Butirato de citronelilo	Isovalerato de etilo
N-metilantranilato de metilo	Caproato de etilo
Acetato de terpinilo	Octanoato de etilo
Formiato de etilo	Decanoato de etilo
Acetato de etilo	3-Hidroxicaproato de etilo
Propionato de etilo	De etilo

Fuente: Primo, 1979.

3.8 Otros componentes

3.8.1 Lípidos

La mayor proporción de lípidos de los frutos cítricos está en las semillas. Cantidades menores hay en la piel y en las vesículas. En el zumo hay cantidades significativas localizadas, principalmente, en las partículas suspendidas. Por su escasa proporción, los lípidos del jugo no tienen importancia, desde el punto de vista de su valor nutritivo.

Los lípidos de las vesículas y del zumo exprimido influyen en las características de éste. La complejidad de los lípidos del jugo es importante porque influye en su alteración y en la aparición de sabores extraños.

Está formado por monoglicéridos, diglicéridos, triglicéridos, ácidos grasos libres, fosfolípidos, glicolípidos e insaponificables.

Tabla 9

Composición de lípidos del jugo de naranja

Ácidos libres	10-25%
Glicéridos	15-25%
Fosfoglicéridos	15-20%
Insaponificables	15-20%

Fuente: Primo, 1979.

3.8.2 Componentes nitrogenados

Los compuestos de nitrógeno son escasos en los frutos cítricos. En el jugo, la proporción de nitrógeno total es de 50-200 mg/100ml. La mayor parte es de aminoácidos (40%-70%); las proteínas, el nitrógeno inorgánico y algunas bases nitrogenadas integran el resto.

Desde el punto de vista del valor nutritivo, los aminoácidos y proteínas son prácticamente despreciables, sin embargo tienen interés en otro aspecto, ya que tanto el total de aminoácidos libres como las pautas de aminoácidos y sus relaciones, se han tomado como base para la detección de adulteraciones.

3.8.3 Compuestos minerales

La cantidad de cenizas que producen los frutos cítricos en la incineración y la composición de las mismas depende mucho de las condiciones del suelo y de la fertilización.

Destaca en ellas el alto contenido en potasio y el excepcionalmente bajo contenido en sodio, lo que tiene importancia desde el punto de vista nutritivo en relación con las enfermedades del sistema circulatorio, que necesitan dietas bajas en sodio y altas en potasio.

3.9 Usos industriales

Los productos industriales más importantes derivados de los cítricos son: el jugo natural, el jugo concentrado y el jugo concentrado congelado.

Son también importantes los aceites esenciales, el pienso de corteza, las pectinas y los segmentos de mandarina enlatados.

Tienen menos importancia los líquidos del prensado de las cortezas y el aceite de semillas.

Las cortezas de naranja son una de las materias primas más utilizadas para obtener pectina industrialmente. En general, la materia prima de naranja se prepara en las fábricas de jugos para ser enviada a las de pectina, una vez estabilizada y desecada.

Su propiedad más interesante es la de formar geles consistentes, cuando se mezclan sus soluciones con sacarosa y ácidos. Por esta propiedad se utilizan, en gran escala, para la fabricación de mermeladas y jaleas.

En las glándulas del flavedo de las naranjas y otros frutos cítricos se acumula el aceite esencial, que se obtiene en las fábricas de jugo de naranja como producto secundario (94).

Se han realizado extracciones con CO₂ supercrítico de aceites esenciales y éstos han sido usados para producir nuevos extractos y concentrar la cantidad de compuestos oxigenados en aceites esenciales, lo que ha permitido mejorar la calidad de los jugos en cuanto a sabor y aroma.

Enzimas proteolíticas han sido también producidas desde un medio de pectina cítrica a través de *Rhizopus nigricans*.

Antocianinos han sido recuperados para su posterior uso como colorantes en alimentos (31).

Además del aceite esencial de corteza, existen en el mercado otros productos aromáticos. Son importantes la esencia oleosa volátil y la esencia soluble volátil, o esencia de naranja. Estas esencias volátiles se obtienen, al concentrar el jugo, cuando se recuperan los componentes volátiles evaporados, mediante una columna de concentración de aromas.

Las cortezas que previamente han sido raspadas, para la obtención del aceite esencial, se trituran con agua y se destila y rectifica una fracción volátil, dando una esencia concentrada.

El aceite esencial de corteza se usa, principalmente, para preparar bebidas con sabor a naranja, y los concentrados de esencias volátiles para reforzar el aroma del jugo concentrado congelado y de las bebidas refrescantes de calidad (94).

Se han obtenido, por acción microbiana, algunos derivados oxidados (carvona, perillaldehído y otros mentenoles) de el limoneno que tienen aplicación en la industria de la perfumería (14).

Las semillas de naranja contienen una importante proporción de proteína (10-12% en la semilla sin secar). La harina seca y desengrasada contiene cerca del 40% de proteínas y constituye un excelente pienso.

También la corteza de naranja, unida a los residuos sólidos de la extracción del jugo, se prensa y se seca, para obtener un pienso bien apreciado con un contenido proteico del 6-7% (94).

4.1 Introducción

El proceso de elaboración de jugos cítricos comprende varias etapas entre las cuales están: la valoración de la madurez de la fruta que entrará a proceso, la recepción y almacenamiento de dicha fruta, la selección, el lavado, la extracción, la operación de acabado, la desaeración, la pasteurización y el envasado, son operaciones comunes a la mayoría de los jugos cítricos, sin embargo en el caso de jugos congelados o reconstituidos existen operaciones adicionales al proceso, dichas operaciones serán también detalladas más adelante.

A continuación se especificarán las operaciones que deben realizarse para la elaboración de uno de los jugos más comercializados el jugo pasteurizado que no es obtenido a partir de concentrado.

4.2 Jugo Pasteurizado (*Pasteurized Juice, not from Concentrate*)

Este jugo no es elaborado por reconstitución de jugo concentrado, y es llamado comúnmente “no de concentrado”, se considera un producto de alta calidad y consecuentemente esa calidad se ve reflejada también en el precio del producto, que por supuesto el consumidor está dispuesto a pagar.

Generalmente se utiliza naranja para la elaboración de este tipo de jugos, ya que es uno de los jugos de mayor demanda, aunque el jugo de toronja también tiene aceptación.

4.2.1 Valoración de la madurez de la fruta

La valoración de la madurez de la fruta para proceso puede llevarse a cabo con una prueba de índice de madurez.

A continuación se explica el concepto de índice de madurez (I.M.).

La concentración en sólidos solubles del zumo de naranja se expresa en grados Brix (°Bx).

Un grado Brix es la densidad que tiene a 20°C una solución de sacarosa al 1% y a esta densidad corresponde también un determinado índice de refracción.

Como los sólidos disueltos no son sólo sacarosa, sino que hay otros azúcares, ácidos y sales, en el jugo de naranja, un °Bx no equivale a una concentración de sólidos disueltos de 1g/100 ml.

Los °Bx son, por tanto, un índice comercial, aproximado de esta concentración, que se acepta, convencionalmente, como si todos los sólidos disueltos fueran sacarosa.

Durante la maduración de naranjas, toronjas y mandarinas, hay un aumento en la concentración de sólidos solubles, sobre todo de los azúcares, y un descenso importante de la acidez. Por esto, la razón: °Bx/Acidez valorable, aumenta cuando avanza la maduración, y se toma, universalmente, como índice de madurez (I.M.).

Aunque la acidez valorable se debe a varios ácidos, para el cálculo del I.M. se expresa como ácido cítrico anhídrico; así pues:

$$\text{I.M.} = \frac{\text{Grados Brix}^1}{\text{Acidez valorable}^2}$$

¹Corregidos o sin corregir

²Valorada con NaOH y expresada como gramos de ácido cítrico anhidro/100ml.

Existen periodos en que la cosecha tiene más sólidos solubles y el jugo es más aromático que en otros. En todo caso, es ventajoso, para la calidad, dejar la fruta en el árbol el mayor tiempo posible, para permitir el desarrollo completo del aroma, de la proporción de sólidos disueltos y del I.M., asegurando la desaparición de sabores amargos.

Debe tenerse en cuenta que al pasar de 10°Bx a 11°Bx, el rendimiento industrial, en concentrado, aumenta en un 10% (94).

La razón: °Brix/Acidez, es usada en la determinación de la madurez de frutas, como una medida aproximada de relativo dulzor.

Sin embargo, como contenido de acidez es un determinante factor para la calidad de cítricos ácidos, la razón no es práctica para determinar la madurez en frutos cítricos ácidos, por ejemplo los limones. En orden para elucidar la correlación de °Brix con contenidos de ácidos y azúcares en el jugo de frutas cítricas ácidas, los contenidos de azúcar (azúcares reductores y no reductores), el contenido de ácidos (libres y ácidos totales), y los valores de °Brix fueron determinados en 151 frutas cítricas (limones, limas, naranjas agrias). Ninguna correlación fue encontrada entre los °Brix y el contenido ácido o la relación: azúcar-ácido. Una baja correlación fue observada entre el °Brix y los contenidos de azúcar. Se concluye que el valor de °Brix o sólidos solubles totales parece proporcionar menos información que realizando las medidas individuales del contenido de ácidos y el contenido de azúcares (139).

4.2.2 Recepción y almacenamiento de la fruta

El mejor método para la entrega de la fruta a la fábrica es indudablemente en cajas. La entrega en bolsas no debería ser permitida porque la fruta siempre se aplasta y deforma, aún en almacenamiento por cortos periodos es detrimental para la fruta debido a su actividad respiratoria.

En ausencia de cajas, el mejor procedimiento para entregar la fruta es en camiones, almacenada en depósitos o tanques en los cuales la fruta no debe estar apilada a más de un metro de altura, la única objeción es la dificultad de la maniobra de descarga en orden para la línea de alimentación a la planta.

El mejor método para almacenar grandes cantidades de fruta consiste en una serie de depósitos rectangulares con declives para minimizar la presión ejercida por las capas superiores. El fundamento de este depósito es un plano inclinado que permite la rotación de la fruta sin dificultad hacia la línea de alimentación de proceso.

La fruta antes de llegar a la línea de alimentación a proceso pasa por un sistema que está diseñado de la siguiente manera: el camión llega a una plataforma de concreto inclinada para facilitar la descarga. La fruta es acarreada a través de bandas en donde está sujeta a rotación para facilitar la operación de inspección de la materia prima. La fruta seleccionada es descargada ahora en un elevador y llevada hasta la parte más alta del depósito el cual está gradualmente llenándose. De éste contenedor se alimenta la línea que va hacia proceso.

4.2.3 Inspección de la fruta para proceso

Los materiales utilizados para la construcción de las bandas deben prevenir el daño del flavedo e impedir la pérdida de aceite esencial por algún daño mecánico, usualmente están hechas de lona que sirve para éstos propósitos.

Las bandas que permiten la rotación son preferibles porque permiten la inspección de todos los lados de la fruta.

La fruta no debe mostrar ningún signo de mohos (colores azul y verde), ni de descomposición, ni de infección por mosca de fruta del Mediterráneo, o alguna otra enfermedad.

La primera inspección general es usualmente efectuada antes del lavado de la fruta. Después, durante el proceso de extracción alguna fruta será estropeada o aplastada, otra más mostrará signos de infección después de partida, signos que no eran externos y sólo se aprecian hasta las siguientes etapas del proceso.

4.2.4 Lavado

La siguiente operación es generalmente el lavado de la fruta.

Si se realiza la extracción de aceites esenciales el lavado se realiza después.

La fruta debe ser lavada completamente antes de partirla o de someterla a proceso, ya que puede estar polvorienta, contaminada con materia extraña como mugre o remanentes de sprays adheridos a la piel.

El lavado es esencial no sólo para mejorar el sabor y apariencia del producto, sino también facilita la conservación del jugo porque remueve esporas, levaduras y una gran cantidad de microorganismos.

El lavado es realizado en máquinas especiales que consiste en un tanque lleno de agua, con un sistema de palas que continuamente agitan la fruta sin dañarla y tiene inmersa una banda inclinada para trasladar la fruta limpia (15)

4.2.5 Extracción

Para hablar del proceso de extracción, es necesario hacer hincapié en los tipos de extractores de uso común en la industria procesadora de cítricos, ambos producen un jugo que cumple con los estándares de calidad.

4.2.5.1 Extractor tipo FMC

El extractor FMC es alimentado con un sistema que deposita la fruta en la base del extractor. Está formado con un sistema de pocillos en donde la fruta va a ser exprimida. La mitad superior del pocillo desciende y presiona hacia abajo sobre la fruta, y una vez hecho el contacto, la parte puntiaguda de un tubo de acero inoxidable (localizado en el fondo del pocillo) es insertada en el fondo de la naranja, cortando un tapón. La fruta es presionada en el interior del pocillo forzando al jugo a entrar al tubo de acero inoxidable el cual tiene pequeños agujeros en la sección cilíndrica y un sistema de recuperación del jugo en la base del cilindro.

El sistema FMC necesita tamañador de la fruta para conseguir mayor eficiencia en lo que a calidad de jugos se refiere.

Existen sistemas acoplados para la posterior recuperación de los aceites esenciales y de la cáscara para la fabricación de piensos.

4.2.5.2 Extractor Polycitrus

Este sistema es, perfectamente apto para todo tipo de *Citrus*, (aunque de modo especial para el limón, por la obtención de los aceites esenciales, pues se le considera como el más importante para este tipo de materia prima).

El sistema consiste en canales formados por rolos cubiertos con chapa rapa por los cuales un transportador de paletas desplaza la materia prima. Tanto la velocidad de los rodillos como el desplazamiento del transportador son perfectamente regulables, por lo que además de no ser necesario realizar un tamañado previo, se puede trabajar con materia prima de distinta consistencia.

La fruta ya raspada pasa al exprimidor propiamente dicho, el que consta de dos cilindros recubiertos de chapa rata que giran en sentido contrario. Están separados por una cuchilla que se desplaza a lo largo de todos los cilindros y corta la fruta en dos mitades que están obligadas a pasar por una malla perforadora la cual sigue la curvatura de los cilindros, cuyo acercamiento ó alejamiento produce una mayor ó menor expresión (exprimido) en la materia prima (16).

Estudios recientes han confirmado que la manera en como haya sido extraído el jugo influye sobre las propiedades de éste.

El jugo extraído con uso de gran presión presenta menos estabilidad que el jugo de extracción suave.

La estabilidad del jugo está dada por la propiedad de “nube” (la característica de opacidad tan apreciada que muestran los jugos cítricos) y es un factor de calidad importante en la comercialización de jugos (17).

4.2.6 Operación de acabado

Los productos obtenidos de ambos tipos de extractores necesitan limpiarse de pulpa y semillas.

Esto puede realizarse por la acción de un sistema rotatorio dentro de un cilindro.

Altas presiones utilizadas en los extractores pueden resultar en la formación de malos sabores (por incorporación de aceite esencial) y proporcionan un jugo con mayor cantidad de pulpa y hasta residuos de cáscara que pueden corregirse en esta etapa del proceso.

En las plantas procesadoras existen sistemas “limpiadores” acoplados en paralelo. El jugo resultante del primer sistema limpiador contendrá bajo contenido de pulpa y puede ser utilizado directamente para procesos que requieren bajos contenidos en sólidos solubles.

La cantidad de pulpa en el proceso final de elaboración de jugo está determinada por los estándares de calidad de la fábrica.

La pulpa obtenida por estos sistemas es tratada en plantas especializadas para su posterior empaque en contenedores de aproximadamente 18 Kg. Es almacenada y congelada para su uso futuro (46).

4.2.7 Desaereación

Ordinariamente la pasteurización de los jugos cítricos debe ser precedida por desaereación, eliminar la mayor cantidad de oxígeno disuelto para prevenir la oxidación y consecuente disminución del valor nutritivo del jugo.

Jugos tratados térmicamente sin previa desaereación rápidamente desarrollan un sabor a "cocido" y presentan un periodo corto de almacenamiento.

Existen diferentes tipos de desaeradores, todos ellos están basados en el mismo principio: rociar en forma de spray el jugo hacia una cámara con un alto vacío (736 mmHg).

La temperatura del jugo y el vacío son factores que deben ser controlados para prevenir la ebullición del jugo.

4.2.8 Pasteurización

En jugos cítricos las levaduras son exterminadas por calor algunos minutos a 60-65°C, mientras que algunos hongos resistentes pueden crecer en medios ácidos y requieren entonces una temperatura de 80°C por 20 minutos.

La destrucción térmica de los microorganismos está en función del tiempo y de la temperatura.

Otros microorganismos como la mayoría de las bacterias, son más resistentes al calor pero no son capaces de multiplicarse en medios ácidos como los jugos cítricos. También los hongos son más resistentes a la temperatura que las levaduras, pero su crecimiento es prevenido por la eliminación del oxígeno del espacio de cabeza del envase.

Los jugos pasteurizados deben mantenerse en condiciones estériles en contenedores sellados, como una medida para que todos los microorganismos del medio sean excluidos.

Los envases deben estar perfectamente limpios y estériles, deben ser llenados y sellados dejando el menor espacio de cabeza que pueda ser posible.

Los aceites de la corteza entran al producto durante los procesos de extracción. Las altas presiones utilizadas durante la extracción mejoran el rendimiento pero también incorporan más aceite al producto. Muchos de estos aceites esenciales proporcionan "mal sabor" al jugo, por lo tanto, la cantidad de aceite incorporado podría ser controlada sólo por la presión usada en el extractor.

Aún así sistemas eliminadores de aceites han sido desarrollados como parte integral de los procesos de pasteurización.

En el sistema eliminador de aceite la temperatura es elevada por encima de la temperatura de llenado. El jugo es entonces sometido a un rápido cambio de presión controlado por un condensador y sistema de vacío que regulan la temperatura de llenado.

Esta evaporación tipo flash, remueve algunos de los aceites presentes en el jugo, debido a que el aceite tiene un punto de ebullición mayor que el jugo.

Existen sistemas que permiten recobrar o recuperar los aceites obtenidos (Sistemas recuperadores de aceites).

4.2.8.1 Pasteurización tipo flash

El tratamiento térmico inadecuado durante la pasteurización de jugos cítricos causa el desarrollo de sabores indeseables. La baja temperatura aunada a períodos cortos de tiempo resulta ser la mejor manera para retener el sabor natural del jugo.

Atendiendo a este objetivo el jugo es sometido a alta temperatura por algunos segundos y después es inmediatamente enfriado. Este método se conoce como pasteurización tipo flash (15).

En un pasteurizador-flash el jugo es usualmente calentado a 85°C por solo 30 segundos. Diversos estudios han indicado que el mayor efecto sobre el sabor a "cocido" lo ejerce el período de tiempo al cual se someta el producto, más que la temperatura a la que se realice el proceso.

Se sugiere entonces pasteurizar el jugo a 110°C por sólo 2 segundos y rápidamente enfriarlo a 38°C (13).

Estas temperaturas son propias para la inactivación de varias enzimas en particular de las enzimas pécticas.

4.2.8.2 Innovaciones en pasteurización

Sistema de micro-ondas ha sido utilizado para la pasteurización de jugos cítricos. El jugo es continuamente pasado a través de una serie de cámaras micro-ondas, el flujo secuencial permite un incremento en la temperatura del jugo el cual es suficiente para pasteurizar el jugo sin causar una detectable pérdida en el sabor (86).

La relación: pH-temperatura óptima para la pasteurización ha sido determinada, en los rangos de 65-75°C y pH= 2.5 a pH= 4.0 , los resultados demostraron que no existía actividad pectinesterasa debajo de pH =3.5 , *Leuconostoc mesenteroides* tuvo su máxima y su mínima resistencia térmica a pH= 3.5 y 2.7, respectivamente.

Para un proceso teórico ideal se requiere una reducción de 4 ciclos logarítmicos microbianos, así que las condiciones óptimas de pasteurización fueron : 12 minutos a 75°C a pH=2.7 (136).

4.2.9 Envasado

El jugo es bombeado desde el pasteurizador hasta el cuenco de llenado el cual tiene un flotador que regula el flujo del jugo. Es un sistema rotatorio que puede aceptar envases vacíos a través de un sistema cronométrico, que está a su vez sincronizado con las válvulas de llenado.

Debajo del sistema de llenado los envases son levantados por acción de leva y colocados hacia arriba rumbo al sistema de llenado.

Al contacto del envase con las válvulas, éstas se abren y por gravedad entra al envase el flujo del jugo caliente.

Una vez llenado el envase entra a una máquina que inyecta vapor de agua para expulsar el aire que hubiera podido quedar entre el jugo y la tapa. El producto envasado es enfriado por sistema de spray de agua y almacenado a temperatura ambiente (46).

Generalmente el jugo pasteurizado no de concentrado es envasado en botellas de plástico, o envases de carton (con recubrimiento de polietileno)⁽¹⁸⁾.

4.3 Jugo no pasteurizado (*Fresh-Squeezed Juice*)

En el caso del jugo "*fresh-Squeezed*" o de recién expresión, su elaboración finaliza justo en la etapa de extracción, donde posteriormente es envasado en botellas de polietileno. Generalmente se utiliza sólo toronja y naranja para la elaboración de este tipo de jugos, que están incrementando su popularidad en el mercado estadounidense. En el estado de Florida, reglas específicas de aseguramiento de calidad han sido declaradas para estos productos, por ejemplo, en el caso del jugo no pasteurizado de naranja la materia prima debe ser sólo naranjas maduras de las especies *Citrus sinensis* y no puede contener sólidos de pulpa, además por declarar en la etiqueta "de recién expresión" no debe haber sido congelado en ningún momento ⁽¹⁸⁾.

Cabe aclarar que ninguno de los dos sistemas de extracción antes mencionados son utilizados en la elaboración de éste jugo, sino que es utilizado otro equipo de extracción: el Bertuzzi Citrostar, extractor *in line*, que evita el contacto directo entre el jugo y la cáscara, asegurando así niveles mínimos de bacterias y aceites esenciales en el jugo. La planta en la que se utiliza este extractor, aunado a un sistema de ultrafiltración seguida por un calentamiento rápido a 85°C, produce un jugo de naranja recién exprimido (no pasteurizado). Se puede encontrar también otro equipo de extracción, de patente Procter & Gamble ⁽¹⁶⁾.

4.4 Jugos obtenidos a partir de concentrado (*Single Strength Juices from Concentrate*)

Si se desea hacer jugo concentrado, ésta operación se realiza después de la pasteurización.

Las grandes ventajas para elaborar concentrados a partir de jugos son:

- 1) Reducción del volumen para el almacenamiento y embarque.
- 2) Si suficiente agua es removida del jugo, el concentrado puede mantenerse a temperatura ambiente sin descomposición.

La técnica más usada es la aplicación de calor al producto para evaporar el agua. Otros procesos han sido utilizados para remover el agua, por ejemplo la congelación y la ultrafiltración pero no han sido ampliamente aceptados en jugos cítricos.

Los jugos cítricos son muy sensibles al calor y si se exponen a elevadas temperaturas o se mantienen a temperatura ambiente por períodos prolongados pueden ocurrir cambios en el sabor y color del jugo.

Con los pasteurizadores HTST (High temperature Short Time) el jugo de naranja, por ejemplo, puede ser calentado rápidamente a 85-93°C por 30 segundos y rápidamente enfriado sin ningún cambio en el color.

Este proceso detiene las reacciones enzimáticas que podrían causar la falta de nube del producto al rediluirse, cambios en el sabor y en el color.

Existe una reacción no-enzimática que causa oscurecimiento debido a la reacción de azúcares con proteínas (Reacciones de Maillard), esta reacción es retardada a bajas temperaturas. Por esta razón todo el jugo de naranja concentrado producido para su reconstitución es almacenado a temperaturas de -6°C o menores.

Se puede producir concentrado con el uso de evaporadores HHLT (High Vacuum- Low Temperature).

Un evaporador casi exclusivo de la industria cítrica para la elaboración de concentrados es el evaporador tipo TASTE (Thermally Accelerated Short Time Evaporator).

Crecimiento microbiano y/o falta de nube al rediluirse (por acción de enzimas pectolíticas) pueden ocurrir algunas veces, es por esto que los pasteurizadores HTST han sido acoplados a los procesos de concentración.

El concentrado es envasado a 44.8°Bx ⁽⁴⁶⁾.

Existen algunos procesos más novedosos para concentrar jugos cítricos en donde el jugo y la pulpa son homogenizados en un sistema que emplea un dispositivo para desplazar la mezcla a través de un orificio con una alta presión diferencial. El homogenizador reduce la viscosidad de la mezcla. Usando este proceso el concentrado final puede alcanzar niveles de 72°Brix o mayores ⁽³⁸⁾.

Una considerable cantidad de concentrados cítricos producidos en el mundo son embarcados en contenedores a 65°Bx , su destino final es una planta para su posterior reconstitución. Los concentrados se transportan en barriles de diferente capacidad.

El concentrado es bombeado desde el tanque frío de almacenamiento a la planta y mezclado según las especificaciones acostumbradas, las cuales pueden o no requerir la adición de esencias en este punto.

Una vez que el concentrado es bombeado hasta los tanques mezcladores se realiza la adición de agua. La esencia de naranja y los aceites esenciales de corteza también se adicionan en este punto si es que no ha sido realizado este paso en la planta de elaboración del concentrado.

La pulpa es abastecida por la planta del jugo en empaques congelados de 18 kg., es algunas veces adicionada para dar al jugo mayor sensación de frescura. El jugo reconstituido es pasteurizado, después enfriado y llenado en botellas o empaques de cartón y embarcado para su posterior venta ⁽⁴⁶⁾.

4.4.1 Jugo mantenido en frío ("*Chilled Juice*")

Como su nombre lo indica debe ser mantenido en cadena de frío durante almacenamiento y transporte, además puede ser envasado en envases de polietileno, cartón (con recubrimiento de polietileno), y botellas de vidrio. Es considerado como un producto de buena calidad por la mayoría de los consumidores. La venta de este producto se ha incrementado constantemente.

Es generalmente preparado por mezclas de diferentes muestras de concentrado para lograr el balance azúcar-ácido deseado.

Por lo general la materia prima es la naranja.

4.4.2 Jugo enlatado ("*Canned Juice*")

Otro jugo obtenido por reconstitución es el "*Canned Juice*", es decir, jugo enlatado que generalmente es envasado en latas de estaño, o en latas esmaltadas de estaño y aluminio.

Una de las formas más populares de este jugo es el elaborado a partir de toronja, mientras que el mercado de jugo de naranja envasado en latas de estaño continúa declinando.

4.4.3 Jugo asépticamente empacado (*"Aseptically Packed Juice"*)

El jugo *"Aseptically Packed Juice"*, es decir, el jugo empacado asépticamente en envases Brik-Pak[™] y Pure-Pak[®]. El jugo envasado asépticamente es considerado un producto estéril. Los jugos de éste tipo que tienen mayor demanda son los de toronja y los de naranja.

4.4.4 Jugos concentrados congelados (*Frozen Concentrated Juice*)

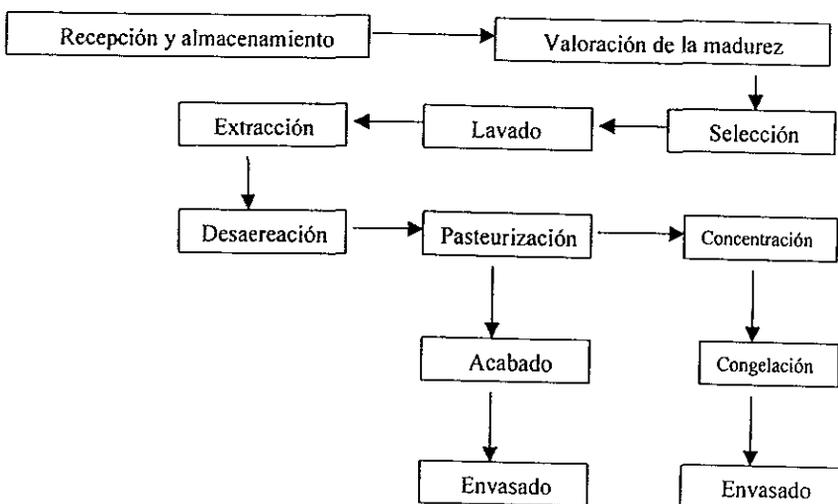
En el caso de jugos concentrados congelados, la última etapa en las operaciones de proceso es el congelamiento flash y el empaque en cajas. Ambas operaciones posteriores a la etapa de concentración.

Las materias primas más utilizadas en este tipo de jugos son las naranjas, las limas y los limones.

En el caso del jugo concentrado congelado de naranja, éste es preparado por mezcla del concentrado a 60°Brix con aceite esencial, esencia de naranja, pulpa y suficiente agua para alcanzar un producto congelado a 42°Brix.

El concentrado de toronja es preparado de manera similar, excepto que la única fracción adicionada es el aceite esencial.

Diagrama 3
Operaciones comunes a la mayoría de los jugos cítricos



4.5 Innovaciones Tecnológicas en proceso

Jugos cítricos han sido tratados con CO₂ supercrítico (CO₂-SC) y fue determinado el efecto de la temperatura y de la presión sobre la calidad del jugo.

La pectinesterasa fue inactivada por CO₂-SC a temperaturas menores que aquellas necesarias para su inactivación térmica.

No hubieron cambios significativos en los valores de pH, °Brix, y acidez total; antes y después del tratamiento, pero “un brillo” fue desarrollado en las muestras analizadas.

Más ácido ascórbico fue retenido durante el tratamiento del jugo con CO₂-SC que con un tratamiento térmico (93°C por 0.66 minutos).

Durante un almacenamiento de 28 días a 4°C, la actividad pectinesterasa del jugo tratado fue disminuida.

La evaluación sensorial mostró que el color, sabor, y aroma del jugo tratado, no fueron significativamente diferentes de aquellos valores correspondientes a los jugos no sometidos a CO₂-SC.

Este método ofrece beneficios potenciales para el procesamiento de jugos cítricos (69).

Experimentalmente se ha comprobado que el uso de la ultrafiltración aunado al de la pasteurización tiene un efecto positivo en la vida de anaquel del producto.

La ultrafiltración separa el suero de la pulpa, después la pulpa es pasteurizada por separado y vuelve a mezclarse con el suero.

Este jugo preparado por recombinación de pulpa pasteurizada y suero tiene una turbidez estable y propiedades sensoriales satisfactorias; la putrefacción por causa microbiana es observada después de 10 días de almacenamiento a 10°C, a 2°C el producto permaneció estable por más de 60 días.

Este proceso se recomienda para preparar jugos de alta calidad a partir de productos sensibles al calor como las naranjas rojas y las mandarinas (34).

Recientemente el uso de altas presiones en el jugo de naranja y toronja se han estudiado con el fin de inactivar a la enzima pectinesterasa, ya que ésta reduce la calidad de los jugos cítricos y su inactivación por calor da como resultado una pérdida de la frescura en el sabor.

Los resultados que se han obtenido a presiones mayores de 600Mpa indican que la inactivación de la forma lábil de la pectinesterasa se lleva a cabo instantáneamente, pero la forma estable al calor de la enzima no se inactiva (37).

De igual manera el uso de la presión es utilizado como método para la preservación de la “nube” sin el uso de temperaturas extremas utilizadas en la pasteurización comercial. Desde 500 hasta 900 Mpa han sido investigados a diversos tiempos que van desde un segundo hasta 10 minutos.

De esta manera se ha logrado incrementar la estabilidad de la “nube” durante el tiempo de anaquel (36).

CAPITULO V

Pérdida de calidad de los jugos cítricos durante su vida de anaquel

5.1 Introducción

La vida de anaquel de los jugos cítricos está determinada por aquellas variables que influyan sobre la calidad, es decir todos aquellos factores que incidan sobre la pérdida de nutrientes (específicamente vitamina C), y la pérdida de las características sensoriales (como el sabor y el color), afectarán evidentemente de manera importante el tiempo en que el producto pueda ser adquirido sin haber presentado cambios en sus constituyentes, es decir el tiempo que transcurre desde la elaboración del producto hasta su consumo.

Los efectos que tienen la temperatura de almacenamiento, la cantidad de oxígeno con la que esté en contacto el producto y el tipo de envase, se verán reflejados en la pérdida de vitamina C, generación de malos sabores y en la formación de colores no típicos de los jugos.

Los cambios que ocurren durante el almacenamiento de jugos cítricos pueden diferir ampliamente entre los diferentes productos porque existen diferencias entre los materiales de inicio, las condiciones de procesamiento, los diversos materiales de envase y las condiciones de almacenamiento.

En éste capítulo será expuesta la influencia de todas estas variables sobre las características nutricionales y sensoriales de los jugos cítricos, también se abordarán problemas de almacenamiento específicos que se encuentran para cada tipo de jugo.

5.2 Pérdida de nutrientes durante el almacenamiento

La vitamina C, también conocida como ácido ascórbico, ha sido ampliamente asociada a la calidad nutricional de los jugos cítricos, su estudio durante el almacenamiento es de gran importancia debido a su declaración en etiqueta.

La vitamina C es fácilmente susceptible a la oxidación y se transforma en ácido dehidroascórbico, que tiene el mismo efecto nutricional.

Al igual que la vitamina C, algunas vitaminas del complejo B han tomado importancia recientemente para ser estudiadas durante el almacenamiento.

5.2.1 Vitamina C

Las principales operaciones en el procesamiento de jugos procesados son:

- 1.- La extracción
- 2.- La operación de acabado
- 3.- La operación de mezclado
- 4.- La pasteurización y
- 5.- El llenado y cerrado de los envases (79).

Las técnicas de proceso modernas emplean desaeradores y pasteurización HTST (High Temperature Short Time) que resulta en una mínima pérdida de vitaminas en el jugo cítrico (5,78).

Las pérdidas de vitamina C son generalmente menos del 4% después de las operaciones de extracción, acabado, mezclado, pasteurización y envasado (10, 135)

Recientemente se reportaron los efectos del oxígeno sobre la estabilidad del ácido ascórbico en jugo de naranja envasado con relación a la barrera de oxígeno y la cantidad de movimiento físico aplicado al producto durante el almacenamiento. Este estudio ayudó a explicar porqué la pérdida del ácido ascórbico en ciertos productos es más grande durante la transportación que en el almacenamiento, sin hacer caso del tipo de barrera de el material de empaque.

Con materiales de empaque de baja densidad como el polietileno de baja densidad, la permeabilidad del oxígeno a través del cartón es más rápida que a través del jugo. Con los materiales de empaque de alta densidad, la velocidad de difusión del oxígeno puede ser 100,000 veces más lenta a través del empaque que a través del jugo.

En este caso el polímero controla la permeabilidad del oxígeno excepto en las áreas de sellado y en el espacio de cabeza (interfase jugo-empaque) (112).

Los incrementos en la retención de ácido ascórbico están relacionados al mejoramiento de las propiedades de barrera. En aquellos envases en donde el oxígeno puede entrar a través de los sellos, llega a permitir que una gran concentración de oxígeno entre al producto, esto va más allá del mejoramiento de las propiedades de barrera. Mientras existan fugas en los sellos, las barreras contra el oxígeno no son de gran ayuda.

Las propiedades de barrera van desde polietileno de baja densidad hasta laminillas metálicas, como se muestra a continuación:

LDPE < OPP < PET < NYLON < SARAN < EVOH < FOIL

Donde:

Tabla 10
Barreras contra oxígeno

LDPE	Polietileno de baja densidad
OPP	Polipropileno orientado
PET	Tereftalato de polietileno
NYLON	Nylon
SARAN	Saran
EVOH	Copolímero de etil vinil alcohol
FOIL	Laminilla metálica

Fuente: Charalambous, 1993

El mejoramiento para disminuir la permeabilidad del oxígeno a través de los sellos llega a ser más importante que el mejoramiento de las propiedades de barrera.

Poca convección ocurre durante el almacenamiento, el oxígeno es continuamente destruido por el ácido ascórbico y otros agentes reductores del jugo adyacentes a las paredes del empaque. Durante el transporte, el movimiento de los envases incrementa la convección, entonces se incrementa la cantidad total de oxígeno en el producto y se incrementa también la pérdida de ácido ascórbico.

Se ha demostrado que la permeabilidad al oxígeno es diez veces mayor en envases agitados que en muestras sobre anaquel (112).

Una gran variedad de materiales de empaque han sido usados para el jugo mantenido en frío ("Chilled Juice") que para otras categorías de jugos.

Los tipos de envases utilizados son: envases de polietileno, envases de cartón forrados de polietileno (algunas veces con una capa de aluminio como barrera contra el oxígeno) y botellas de vidrio. El jugo en botellas de vidrio es comercialmente estéril y herméticamente sellado y tiene una vida de anaquel de 10 meses (si las condiciones de temperatura de almacenamiento son las adecuadas).

Este producto puede ser distribuido y almacenado a temperatura ambiente, pero su vida de anaquel es reducida a 4-5 meses por pérdida de vitamina C y de sabor.

Los empaques restantes no son herméticos y los productos no son siempre estériles aún cuando el jugo es pasteurizado. La vida de anaquel para estos productos es de 28-42 días dependiendo del tipo de empaque (138).

Las innovaciones en empaque permiten un llenado del producto en caliente y un mejor sellado, así que la vida de anaquel puede aproximarse a la de los jugos envasados en vidrio.

La permeabilidad al oxígeno a través de los sellos y en muchos casos a través del material de empaque, es una razón primaria para la degradación del sabor y de vitamina C durante el almacenamiento.

Las mejores retenciones de vitamina C se han encontrado en jugos de toronja (72) y naranja (61, 107, 115) reconstituidos y enlatados, así como pérdidas menores al 4% reportadas para jugo concentrado congelado de naranja durante el proceso de concentración (110).

La siguiente tabla muestra la retención de vitamina C en jugo de toronja a partir de concentrado, almacenado por 12 semanas a varias temperaturas.

Mientras que la mayoría de los estudios relacionan la pérdida de vitamina C a la pérdida de ácido ascórbico, el siguiente estudio relaciona la pérdida de vitamina C activa total a la pérdida combinada de ácido ascórbico y ácido dehidroascórbico (128).

Tabla 11
Retención de VCTA y % de actividad relacionada a AA y DHA

Tiempo (semanas)	Temperatura (°C)	Retención (%)	% de VCTA	
			AA	DHA
0	--	100	97.3	2.7
3	10	98.6	98.4	1.6
	20	98.0	98.3	1.7
	30	97.9	97.4	2.6
	40	92.9	97.4	2.6
	50	78.0	97.3	2.7
6	10	99.0	97.5	2.5
	20	97.9	97.0	3.0
	30	96.1	97.7	2.3
	40	97.1	97.1	2.9
	50	59.3	95.3	4.7
9	20	96.6	98.3	1.7
	30	92.9	96.9	3.1
	40	76.9	97.3	2.7
	50	45.3	93.5	6.5
12	10	97.9	98.1	1.9
	20	96.8	97.0	3.0
	30	89.5	97.7	2.3
	40	70.0	97.7	2.3
	50	31.3	90.9	9.1

VCTA= Vitamina C Total Activa

AA= Acido Ascórbico

DHA= Acido Dehidroascórbico

Fuente: Charalambous, G. 1993

Como puede observarse en la tabla, un incremento de temperatura y tiempo resulta en un descenso en la retención de VCTA.

El porcentaje de ácido dehidroascórbico (como un porcentaje de VCTA) fue encontrado en un rango relativamente constante (1.6-3.1%) para temperaturas entre 10 y 40°C. Mientras que a temperaturas de almacenamiento de 50°C, el valor para DHA estuvo dentro del rango de 2.7-9.1%.

El decremento de ácido ascórbico en jugo almacenado a 50°C fue muy rápido y la retención final fue muy pequeña.

Los productos cítricos pierden vitamina C por dos causas fundamentales: la temperatura y el tiempo de almacenamiento.

En gran cantidad de estudios se ha llegado a la conclusión de que las bajas temperaturas son sumamente importantes si se desea conservar cantidades adecuadas de vitamina C en el producto durante su almacenamiento (19,78).

Con lo mencionado anteriormente, es de esperarse que la retención de la vitamina C se minimice conforme se incremente la temperatura y el tiempo de almacenamiento.

La relación que se ha encontrado entre el tiempo de almacenamiento y la pérdida de Vitamina C es lineal hasta antes de los 30°C en estudios realizados con jugo de naranja reconstituido y enlatado (80). La linealidad sufre una desviación por encima de los 30°C. El efecto de la temperatura de almacenamiento sobre el contenido total de vitamina C en jugo de toronja enlatado ha sido estudiado en jugos comerciales (128), los cuales fueron almacenados a 10, 20, 30, 40 y 50° C sus contenidos de vitamina C total activa (ácido ascórbico + ácido dehidroascórbico) y ácido dicetoglucónico fueron evaluados en intervalos de tiempo igual a 3 semanas.

En este estudio al final de la semana 12 la pérdida de vitamina C total activa fue de menos de 3% a 10°C y mayor a 68% a 50°C. El ácido ascórbico fue paulatinamente destruido durante el almacenamiento y la velocidad de pérdida se incrementó conforme aumentó la temperatura de almacenamiento.

No se encontraron grandes cantidades de ácido dehidroascórbico ni de ácido dicetoglucónico porque aparentemente la ruptura de la vitamina C procedió por la ruta anaeróbica. Los niveles de dehidroascórbico y de dicetoglucónico esencialmente se mantuvieron sin cambios significativos durante las 12 semanas de almacenamiento.

Las velocidades de degradación de la vitamina C son primeramente correlacionadas con el contenido de sólidos (°Brix) (114) y la temperatura de almacenamiento (80,128) de el producto.

Otros factores menores como el pH, la presencia de iones metálicos y el oxígeno libre (en el espacio de cabeza del contenedor y disuelto en el jugo) son también considerados (50).

Las enzimas encontradas en los frutos cítricos que oxidan a la vitamina C son la Citocromo oxidasa, la Acido ascórbico oxidasa y la Peroxidasa.

Durante el procesamiento del jugo, la pérdida de vitamina C hecha por estas enzimas es mínima por las siguientes razones:

- 1.- Porque son encontradas a bajas concentraciones en el endocarpio
- 2.- Porque el paso de desaereación durante el procesamiento minimiza la cantidad de oxígeno en el jugo y
- 3.- Por las altas temperaturas de pasteurización que destruye sus actividades oxidantes.

Las principales causas para la pérdida de vitamina C en jugos procesados son las reacciones aeróbicas y anaeróbicas de naturaleza no enzimática (60).

La incorporación de aire al jugo durante los procesos de extracción, acabado, mezclado y durante el llenado es considerada por una gran cantidad de investigadores como causa importante para la pérdida de la vitamina (26,45,96).

Actualmente la práctica utilizada en la industria ha sido acoplar el uso de sistemas desaeradores y eliminadores de aceite al equipo utilizado durante el procesamiento.

La práctica común de la inyección de vapor en el espacio de cabeza de la lata durante el llenado también ayuda a este propósito ya que desplaza el aire existente y crea un vacío

(92).

Aunque la inyección del vapor de agua reduce sustancialmente el contenido de oxígeno del producto, existe aún algo de oxígeno disuelto en el jugo (cerca del 0.05%) y algo de oxígeno atrapado dentro del espacio de cabeza de la lata.

Después de que el oxígeno libre ha desaparecido, las reacciones anaeróbicas predominan e influyen en particular sobre la destrucción de la vitamina C pero a velocidades mucho menores que las que se llevan a cabo en presencia de oxígeno.

En productos cítricos almacenados se han identificado diversos intermediarios y productos finales de reacción de la destrucción de la vitamina C, algunos de ellos son: el furfural, el hidroxifurfural, el ácido dehidroascórbico, y el ácido dicetoglucónico.

En estudios de almacenamiento sobre pérdida de vitamina C (56,80) en jugo de naranja reconstituido y enlatado, el producto muestra un período (1-2 semanas) de rápida pérdida de vitamina C que fue causada por la presencia de oxígeno libre. Después de que el oxígeno fue consumido, la degradación anaeróbica de la vitamina C sucedió a velocidades más bajas que en los procesos aeróbicos.

Otros estudios (71) muestran que durante estados iniciales de almacenamiento el jugo envasado en latas retuvo mejor cantidad de vitamina que el envasado en vidrio, porque el recubrimiento de estaño de la lata compitió con la vitamina C por el oxígeno existente en el espacio de cabeza. Después de este estado aeróbico, las velocidades de destrucción de la vitamina fueron similares para ambos jugos.

El tipo de contenedor en el cual los jugos cítricos son empacados tiene una importante influencia sobre la retención de la vitamina C (18,78).

Diversos trabajos (22,70,102) han demostrado que la pérdida de vitamina C en latas esmaltadas es mayor que en latas con recubrimiento de estaño. La diferencia está hecha por el oxígeno residual que reacciona con el estaño en un caso y con la vitamina C en el otro.

La ausencia virtual de oxígeno acoplado a la habilidad reductora del estaño minimizan la destrucción de la vitamina C.

Los productos cítricos empacados en vidrio son en turno, inferiores a los productos enlatados en cuanto a retención de vitamina C (10,27,72).

Los siguientes empaques: vidrio, polietileno, poliestireno y cartón encerado fueron estudiados como contenedores de jugo de naranja reconstituido (10).

Tabla 12

Retención de AA en varios empaques 1.1°C por 0, 1, 3, 6 y 12 meses de almacenamiento.

Tipo de empaque	Tiempo de almac. en meses					
	0	1	2	3	6	12
	% de Retención de AA					
Botella de vidrio ^a	100	97	94	91	85	88
Botella de polietileno	100	90	79	90	43	--
Empaque de poliestireno	100	41	10	--	--	--
Cartón con recubrimiento de cera	100	55	18	--	--	--
Fibra de cartón con recubrimiento Metálico	100	94	92	73	--	--
Fibra de cartón con polietileno	100	97	94	45	23	--

^a Los empaques de botella de vidrio fueron almacenados a 4 4°C no a 1 1°C.

Fuente: Charalambous, G. 1993

De los anteriores tipos de contenedores, las botellas de vidrio mostraron la mejor retención de vitamina C, los contenedores de polietileno herméticamente sellados fueron los siguientes, mientras que las mayores pérdidas de vitamina fueron encontradas en las botellas de poliestireno y los envases de cartón encerado. En contraste con los contenedores de vidrio, las botellas de plástico y los envases de cartón son permeables al oxígeno.

El jugo de naranja concentrado congelado empacado en cartones con recubrimiento laminado y latas de fibra de polietileno retienen un 90% de vitamina C después de 12 meses a -20°C (6). Se ha concluido que los contenedores comerciales utilizados para el jugo concentrado congelado son enteramente satisfactorios siempre y cuando el concentrado sea mantenido en congelación.

La estabilidad del ácido ascórbico en jugo de naranja empacado en Tetra-Brik® también han sido evaluada recientemente (57).

La velocidad de degradación del ácido ascórbico en jugo de naranja procesado asépticamente envasado en cartones Tetra-Brik™ fue evaluada a diferentes temperaturas de almacenamiento. El nivel de oxígeno disuelto, presente en la muestra después del envasado afectó el contenido de ácido ascórbico significativamente, este efecto estuvo relacionado directamente con la temperatura en estudio.

La velocidad de consumo del oxígeno disuelto fue directamente dependiente de la concentración de ácido ascórbico. Ambas degradaciones: aeróbica y anaeróbica

ocurrieron en el mismo sistema. Los procesos aeróbicos predominaron y los procesos anaeróbicos tomaron lugar cuando el nivel de oxígeno disuelto había alcanzado el equilibrio.

Estudios recientes han simulado condiciones de consumo mostrando la retención de ácido ascórbico en jugo de naranja en diferentes empaques comerciales (120). Estos niveles de ácido ascórbico fueron monitoreados durante 5-7 días en 13 tipos de empaques comerciales a 4.5°C en su contenedor original. Las muestras con fines de comparación fueron almacenadas en contenedores de plástico abiertos.

En ambos casos el promedio de pérdida de ácido ascórbico fue alrededor de 1.5-2.0% por día. Estas condiciones simuladas de consumo en casa mostraron que el jugo retuvo en promedio el 88% del ácido ascórbico original después de 1 semana y el 67% después de 2 semanas en almacenamiento bajo temperaturas de refrigeración típicas de hogar.

5.2.2 Vitaminas del complejo B

Las vitaminas pueden ser agrupadas de acuerdo a su solubilidad en agua o en solventes no polares. Las vitaminas solubles en agua son la vitamina C y una serie conocida como complejo B.

Las vitaminas del complejo B es un grupo compuesto por.

- 1) Tiamina (vitamina B₁)
- 2) Riboflavina (vitamina B₂)
- 3) Niacina
- 4) Un grupo que comprende la Piridoxina, el Piridoxal y la Piridoxamina (vitamina B₆)
- 5) Acido pantoténico
- 6) Biotina
- 7) Acido Fólico y
- 8) Cobalamina (vitamina B₁₂)

Todo el complejo de las vitaminas B ha sido detectado en jugos cítricos, excepto la vitamina B₁₂(18).

Tabla 13
Contenido vitamínico de jugo fresco, enlatado y congelado.

Vitamina	Unidades/ 100mL	Naranja			Toronja	
		Fresco	Enlatado	Congelado	Fresco	Enlatado
Acido ascórbico	mg	35-56	34-52	52-107	36-45	32-45
Tiamina	mg	60-145	30-100	112-244	40-100	10-50
Riboflavina	mg	11-90	10-40	27-60	20-100	5.0-30
Niacina	mg	200-300	170-300	300-540	200-220	80-200
B ₆	mg	25-80	16-31	76-100	10-27	7.0-27
Folacina	mg	120-330	150-320	34-130	80-180	10-220
Acido pantoténico	mg	130-210	60-200	290-400	290	70-190
Biotina	mg	1.0-3.0	0.5-1.1		0.4-3.0	0.3-0.9
Vitamina A (actividad)	IU	190-400	2.0-160	40-240	tr-21	0-15

Fuente: Charalambous, G. 1993.

Específicamente sólo tiamina y ácido fólico se han encontrado en cantidades significativas (mayor o igual al 10% de la asignación recomendada a la dieta por los Estados Unidos en jugo de naranja) (19).

Estudios limitados han sido conducidos acerca de la estabilidad de las vitaminas del complejo B en jugos cítricos.

Se han reportado la estabilidad de 6 vitaminas (tiamina, riboflavina, niacina, ácido fólico, vitamina B₆, y ácido pantoténico) en jugo mantenido en frío cuando éste es almacenado a temperaturas mayores (alrededor de los 27°C).

Se observó que tanto la tiamina como el ácido pantoténico disminuyen de manera mínima, mientras que las vitaminas B₆ y la niacina permanecieron relativamente constantes durante 4 meses de almacenamiento.

La riboflavina y el ácido fólico parecían incrementarse durante el almacenamiento. De acuerdo a un ensayo microbiológico algún constituyente aparentemente fué generado durante el almacenamiento, que causó el aumento en estos valores vitamínicos (109).

Con un método más objetivo: el HPLC (High Performance Liquid Chromatography) se demostró que los valores de riboflavina realmente decrecían conforme se incrementaba el tiempo de almacenamiento. El valor incrementado del ácido fólico obtenido por el método microbiológico fue probablemente debido a la hidrólisis de las formas poliglutámicas a 5-MeTHF (5-metiltetrahidrofolato) monoglutamato durante el almacenamiento.

Las condiciones de acidez del jugo, acopladas con el calor y el extenso período de almacenamiento probablemente favoreció la formación de la forma monoglutámica (18).

5.3 Desarrollo de malos sabores

El muy deseable aroma y sabor de los jugos cítricos es difícil de estabilizar y preservar. Una vez que el jugo ha sido tratado térmicamente (para estabilizar el jugo contra microorganismos y enzimas), ciertos procesos químicos han sido iniciados, los cuales degradarán el sabor del producto debido a la formación de “malos sabores” durante el almacenamiento.

La manera más efectiva de minimizar este desarrollo de malos sabores ha sido el almacenamiento del producto a temperaturas de refrigeración.

Diversos factores han contribuido al desarrollo de malos sabores durante el procesamiento térmico y el subsecuente almacenamiento.

La producción de malos sabores puede en principio tener diferentes causas, una de ellas es el crecimiento microbiano (bacterias y levaduras principalmente), aunado también a diversas reacciones químicas.

5.3.1 Causas de origen microbiano

Uno de los problemas que podemos tener en jugos cítricos es la contaminación por microorganismos, aunque la acidez presente en los jugos no permite el desarrollo y crecimiento de microorganismos patógenos, sí permite el crecimiento de ciertas bacterias, levaduras y mohos.

Estos microorganismos antes mencionados afectan la calidad de los jugos, debido principalmente a la producción de malos sabores.

El crecimiento de microorganismos en jugos cítricos es notable por la producción de malos sabores y en última instancia por la putrefacción del producto.

Los tres tipos de putrefacción microbiana que limitan la vida de anaquel de los jugos cítricos son:

- 1.-Sabor fermentado acompañado por burbujas de CO₂ producidas por varias levaduras
- 2.-Un sabor a mantequilla producido por bacterias (*Lactobacillus* y *Leuconostoc*)
- 3.-Un crecimiento coloreado a los lados del empaque y sobre la superficie del producto causada por mohos (19).

La siguiente tabla muestra los microorganismos que han sido aislados de productos cítricos.

Tabla 13

Género de microorganismos aislados de productos cítricos.

Alternaria	Escherichia	Rhizopus
Aspergillus	Fusarium	Rhodotorula
Aureobasidium	Geotrichum	Saccharomyces
Bacillus	Hanseniaspora	Schwanniomyces
Brettanomyces	Hansenula	Serratia
Byssochlamys	Kloeckera	Sporobolomyces
Candida	Lactobacillus	Torulaspota
Citrobacter	Leuconostoc	Trichoderma
Cladosporium	Penicillium	Trichosporon
Cryptococcus	Pichia	Xanthomonas
Enterobacter	Proteus	Zygosaccharomyces

Fuente: Charalambous, 1993.

Esto ilustra la diversidad de microorganismos que pueden existir en los productos cítricos, pero la microflora que puede reproducirse activamente bajo condiciones de bajos pH es limitada y la representan las bacterias ácido-tolerantes, los mohos y las levaduras (118).

Aunque en 1995 indicios de *Salmonella* fueron encontrados en U.S.A. en jugo de naranja sin pasteurizar.

Este brote se debió más bien a malas prácticas de manufactura, ya que *Salmonella* no forma parte de la microflora típica de los cítricos.

En respuesta a este particular caso la Comisión de Cítricos de Florida ha recomendado una serie de buenas prácticas para ayudar a asegurar la producción de jugos de alta calidad microbiana.

Este documento enfatiza sobre los siguientes puntos:

1.-Fuentes de contaminación y

2.-Condiciones ambientales que favorecen el crecimiento microbiano (118).

Las principales bacterias que son causantes de putrefacción en jugos cítricos son especies de *Lactobacillus* y *Leuconostoc*.

Las bacterias ácido-lácticas están divididas en dos grupos: las heterofermentativas y las homofermentativas.

Al menos el 85% de los metabolitos finales son producidos por bacterias ácido-lácticas homofermentativas, mientras que el 50% es producido por bacterias heterofermentativas y entre estos productos destaca el ácido láctico.

Las cantidades abundantes de CO₂, y etanol son producidos por las bacterias heterofermentativas.

Todas las especies de *Leuconostoc* son heterofermentativas mientras que las especies de *Lactobacillus* están divididas entre las dos clasificaciones.

Estos organismos son los responsables para la producción de diacetilo el cual imparte un indeseable sabor a "mantequilla" al jugo (132).

Saccharomyces cerevisiae es la levadura más común asociada con la putrefacción de jugos pasteurizados. Estos microorganismos producen una fermentación alcohólica que resulta en un sabor fermentado debido a la presencia de etanol y CO₂ (18).

Rhodotorula es rutinariamente aislada a partir de jugos cítricos, de cualquier manera esta levadura no causa putrefacción en el producto. Su presencia puede ser indicativa de prácticas impropias de sanitización post-pasteurización (89).

Zygosaccharomyces una levadura osmofílica, ha sido aislada de productos cítricos (9). Las especies de esta levadura pueden sobrevivir fácilmente las altas presiones osmóticas y la baja actividad acuosa de los concentrados congelados de jugo de naranja.

Gluconobacter oxidans, *Lactobacillus plantarum*, *Leuconostoc mesenteroides* y *Saccharomyces cerevisiae* han sido algunos de los microorganismos aislados de jugo de naranja en estado de descomposición.

Se ha hecho uso de diversos sanitizantes para tratar de eliminar diversos microorganismos asociados con la fruta, jugo o superficies de equipos.

Compuestos a base de yodo, cloro y amonio cuaternario han sido efectivos a bajas concentraciones contra estos microorganismos, aunque su espectro de actividad es muy amplio.

La combinación de diversos agentes sanitizantes puede llegar a mejorar su efectividad, es decir puede cumplir una función sinérgica (142).

Los mohos son generalmente de poco interés en el procesamiento de productos cítricos debido a sus bajas velocidades de crecimiento.

Sin embargo se han presentado casos aislados de putrefacción por mohos en jugos pasteurizados y en jugos mantenidos a bajas temperaturas.

Los mohos *Penicillium sp.*; *Aureobasidium pullulans* y *Cladosporium sp.* han sido aislados de jugos pasteurizados de naranja.

Aunque la putrefacción por mohos no es común, los procesos y reprocesos que se realizan en algunos jugos debieran siempre realizarse bajo estricto control debido a que existen condiciones favorables para la contaminación sobre todo después de la pasteurización (88).

El jugo que ha sido comercialmente pasteurizado y empacado en contenedores herméticamente sellados (latas con recubrimiento de estaño) podrán estar generalmente libres de putrefacción microbiana durante su vida de anaquel.

De manera reciente el jugo pasteurizado ha sido almacenado asépticamente y mantenido por encima de las temperaturas de congelación. Esto resulta más económico que el almacenamiento del producto congelado.

Este producto almacenado asépticamente puede perder algunos de sus sabores deseables y desarrollar sabor a "viejo" o tornarse insípido si es almacenado por largos períodos.

Este producto es envasado generalmente en botellas de plástico o en empaque de cartón laminado (laminado sobre ambos lados con material termoplástico usualmente polietileno) (46).

Es esencial que estos productos se mantengan a temperaturas de refrigeración durante el almacenamiento, el transporte y la venta al por menor para mantener su calidad. Una vida de anaquel de 60 días es ahora posible con el avance alcanzado en los materiales de empaque (113).

La permeabilidad de el empaque al oxígeno es un importante factor que limita la vida de anaquel en jugos de naranja y toronja, los nuevos empaques con barreras contra el oxígeno permiten incrementar el tiempo de almacenamiento.

Se efectuó un estudio para observar los efectos de las condiciones de pasteurización y las propiedades de barrera contra el oxígeno de los materiales de envase, en jugos de naranja reconstituidos (19).

Tres tipos de muestras fueron preparadas a partir del jugo reconstituido, éstas fueron:

- 1) Muestra no pasteurizada
- 2) Muestra con pasteurización ligera (equivalente a 66°C por 10 segundos) y
- 3) Muestra pasteurizada (equivalente a 90°C por un minuto).

Cada una de las tres muestras fue empacada en envases multilaminados con una barrera contra el oxígeno (Saran). La multilamina se encontraba configurada de la siguiente manera: Polietileno de baja densidad/ Saran/ papel/ polietileno de baja densidad.

Las muestras también fueron empacadas en un segundo tipo de envase que no contenía barrera contra el oxígeno.

Todas las muestras fueron almacenadas a 4°C, algunos resultados importantes que se obtuvieron fueron los siguientes:

- 1) En jugo no pasteurizado, el crecimiento microbiano, la producción de acetilo y la inversión de sacarosa se incrementaron rápidamente después de 22 días. La barrera de oxígeno no retardó estos cambios.
- 2) Ambos tratamientos (Pasteurización y pasteurización ligera) fueron igualmente efectivos en la reducción de las cuentas microbianas. La barrera de oxígeno inhibió significativamente el crecimiento microbiano (notable después de 15 días de almacenamiento), y también proporcionó niveles reducidos de diacetilo.
- 3) La actividad pectinesterasa fue reducida a 16% de actividad residual en muestras con pasteurización ligera y a 0.1% de actividad residual en muestras pasteurizadas.

La pérdida de nube fue aparentemente después de 2 días en muestras no pasteurizadas, después de 22 días en el caso de muestras con pasteurización ligera y después de 29 días en muestras pasteurizadas. Los envases con barrera de oxígeno retardaron la pérdida de nube en cada caso.

- 4) Los jugos envasados sin tener una barrera contra el oxígeno perdieron dos veces más ácido ascórbico que aquellos que poseían la barrera. Durante la vida de anaquel del jugo no pasteurizado (2 semanas), la retención de ácido ascórbico no fue significativamente incrementada por la barrera de oxígeno.
- 5) Los envases con barrera de oxígeno desarrollaron estabilidad microbiana y de nube así como retención de ácido ascórbico para los tratamientos de pasteurización y de pasteurización ligera. El producto con pasteurización ligera fue estable durante 4 semanas de almacenamiento.

De manera general los jugos mantenidos en frío y los jugos no pasteurizados están sujetos a la putrefacción microbiana a menos de que la sanitización sea cuidadosamente controlada y el producto sea mantenido cerca del punto de congelación (97).

El jugo de naranja sin pasteurizar puede ser almacenado en botellas de polietileno, a 1.1°C por 16-24 días y a 4.4°C por 11 días y aún tiene un sabor aceptable.

A temperaturas iguales o menores a 4.4°C la cuenta microbiológica total decrece durante el almacenamiento en la mayoría de los jugos.

Sin embargo a 7.8°C las cuentas se incrementan significativamente, por lo que las muestras almacenadas a esta temperatura pueden llegar a ser inapalatables después de una semana de almacenamiento (29). Los efectos del tiempo de almacenamiento y la temperatura sobre la calidad del sabor en jugos no pasteurizados, pueden observarse en los datos obtenidos del siguiente experimento.

Tabla 15

Calificación de la escala hedónica después del almacenamiento a las siguientes temperaturas:

Días de almacenamiento	1.1°C	4.4°C	7.8°C
0	6.6	6.6	6.6
2	6.4	6.4	6.5
4	6.0	6.5	5.6
7	6.2	6.0	2.3
9	6.0	5.9	-
11	5.8	5.3	-
14	5.7	4.5	-
16	6.3	4.7	-
21	5.6	-	-
24	5.6	-	-
27	4.7	-	-

Calificación de escala hedónica donde 9= gusta extremadamente, 1= disgusta extremadamente, 5= ni gusta, ni disgusta

Fuente: Charalambous, 1993

Algunos investigadores reportan resultados similares sobre la vida de anaquel de jugo de naranja Shamouti sin pasteurizar (59). El jugo poseía un buen sabor después de 11 días a 2°C y 7 días a 3.7°C, aún retuvo un sabor regular después de 17 días a 2°C y 14 días a

3.7°C, a la temperatura de 5.7°C los jugos mostraron una retención regular del sabor a los 10 días y progresivamente fue adquiriendo un sabor no aceptable conforme la temperatura de almacenamiento fue incrementándose, hasta llegar a los 14°C.

En orden para producir un abastecimiento a lo largo del año de jugo sin pasteurizar para el mercado de los E.U., algo de fruta tiene que ser mantenida sobre el árbol más tiempo que el normal, y la fruta debe ser importada desde otros países o desde otros lugares de los E.U.

Estos factores dificultan el abastecimiento de un jugo de calidad uniforme. Los consumidores están dispuestos a tolerar esta variabilidad y están también dispuestos a pagar un precio alto para estos productos (112).

Una variación del jugo sin pasteurizar incluye un jugo obtenido de fruta fresca producido con un pequeño extractor comercial; de éste modo los consumidores pueden ver desde el inicio de la extracción el producto que ellos compran, esto les proporciona la seguridad de tener realmente un producto de extracción reciente, es decir fresco. La tendencia, sin embargo, es hacia la compra del jugo empacado previamente extraído en las plantas de Florida.

Otra modalidad es el jugo sin pasteurizar congelado, puede mantener su calidad por más de un año. Es popular en restaurantes y con algunos consumidores en casa, puede rápidamente deshelarse en un microondas y tiene un sabor fresco de recién expresión, aún cuando no puede ser declarado en etiqueta como jugo fresco sin pasteurizar.

Un dato que es muy importante en el jugo no pasteurizado es que es requerido un dato de expiración en la etiqueta el cual no excede de 17 días a partir del tiempo de empaque.

Los factores críticos que se han identificado que ejercen mayor influencia sobre la estabilidad microbiana son el pH, la temperatura a la cual se mantiene el producto y la sanitización (89).

El pH afectará significativamente en la sobrevivencia y crecimiento de microorganismos específicos (111).

La temperatura afecta significativamente la actividad metabólica de los microorganismos. Las bajas temperaturas reducen la actividad metabólica y puede llegar incluso a ser letal.

Los jugos concentrados congelados no son estériles, por lo que no pueden ser almacenados por encima de las temperaturas de congelación, puesto que después de algunos días ocurrirá la degradación microbiológica.

La siguiente tabla muestra el efecto de la temperatura sobre la velocidad de crecimiento (k) y el tiempo de generación (g) en horas para microorganismos específicos en jugo de naranja reconstituido (7,73).

Tabla 16

Efecto de la temperatura sobre la velocidad de crecimiento (k) y el tiempo de generación (g) de algunos microorganismos en jugo de naranja reconstituido.

	°C	K	g(hr.)
Leuconostoc	30	0.53	1.3
	10	0.07	9.6
	10	0.05	15.0
Lactobacillus	4	0.007	102.0
	30	0.43	1.6
	10	0.01	55.0
Levaduras	10	0.07	10.0
	10	0.08	9.0
	4	0.05	15.0
Zygosaccharomyces	2	0.03	20.0
	30	0.26	2.7
	4	0.007	103.0

Donde K= velocidad de crecimiento y g= tiempo de generación en horas

Fuente: Charalambous, 1993.

Específicamente las bajas temperaturas reducen la velocidad de crecimiento, de ese modo, se incrementa el tiempo de generación.

La sanitización en la planta es sumamente importante para mantener bajas cargas microbianas.

Las poblaciones microbianas pueden crecer y multiplicarse sobre las paredes de los tanques, equipo y pipas después del punto de pasteurización. Adicionalmente las bacterias aerobias y levaduras comunes pueden entrar al producto por diferentes fuentes: tanques abiertos, equipo, o contenedores durante el llenado (97).

Existen sistemas que ayudan a predecir la vida de anaquel, basados en modelos microbiológicos.

Estos sistemas emplean ecuaciones matemáticas que describen el crecimiento de los microorganismos en alimentos, se enfocan al estudio de patógenos, aunque también existen algunos que estudian específicamente a microorganismos responsables de la putrefacción.

Estudios de este tipo se han hecho con jugos mantenidos a bajas temperaturas (8).

5.3.1.1 Pruebas microbiológicas

El valor del diacetilo es usado como una medida de crecimiento bacteriano durante el procesamiento de jugos cítricos.

El diacetilo (2,3-butanediona) es producido en jugos cítricos por el crecimiento de bacterias ácido-tolerantes como *Leuconostoc* y *Lactobacillus* (44,48).

El monitoreo de los niveles de diacetilo proporcionan un índice rápido de sanitización durante el procesamiento.

Los valores de diacetilo varían de planta a planta y los valores característicos deben ser determinados para cada planta y condiciones de operación de la misma.

Las cuentas directas de microorganismos son usadas para algunos programas de control de calidad. Permiten un chequeo rápido de los niveles de contaminación. Estos procedimientos de cuenta directa no distinguen células vivas de células muertas, por lo tanto las cuentas obtenidas no necesariamente concuerdan con las obtenidas por cuenta en placa

Para la cuenta total de productos cítricos se utiliza el agar naranja suero.

Leuconostoc, *Lactobacillus* y levaduras proporcionan cuentas máximas con el uso de este agar (74).

Este método es rutinariamente utilizado en programas que verifican la sanitización.

En la determinación de levaduras y mohos específicamente son utilizados el agar papa dextrosa acidificado y el agar malta (2).

La reducción o remoción del oxígeno de el espacio de cabeza del envase y la reducción del oxígeno disuelto inicial pueden parcialmente reducir a corto plazo la producción de malos sabores.

Sin embargo otros principales causantes de “malos sabores” son formados a partir de:

- 1) hidrólisis de aceites catalizada por ácido,
- 2) la formación de componentes del jugo que contienen azufre y
- 3) la degradación química de precursores insípidos para producir malos sabores.

Los azúcares del jugo que participan en reacciones las cuales conducen al oscurecimiento y de ese modo contribuyen al pardeamiento, están también relacionados en la formación de compuestos generalmente descritos como sabor a “chabacano” o “piña”.

5.3.2 Causas de origen químico

El almacenamiento a temperatura ambiente, particularmente en climas cálidos, favorecen la formación de compuestos los cuales imparten mal sabor y/o mal aroma a los jugos cítricos.

Un reciente estudio identificó 10 componentes (131) encontrados en jugo de naranja (reconstituido y enlatado) después de 12 semanas de almacenamiento a 35°C. De los compuestos identificados:

- 1) 4- vinilguayacol
- 2) 2,5- dimetil- 4- hidroxil - 3(2H)- furanona y
- 3) α - terpineol

fueron considerados los principales responsables de las propiedades de mal olor en condiciones de abuso de tiempo y temperatura.

En conclusión la determinación cualitativa y cuantitativa de estos tres compuestos puede proveer las bases para generar un test definitivo de calidad en jugo de naranja que ha sido afectado por temperatura de almacenamiento y/o abuso de calor durante los procesos de industrialización (131).

Cuando estos compuestos fueron adicionados a jugo fresco de naranja, el 4- vinilguayacol impartió un aroma a fruta añejada o a fruta podrida.

El α - terpineol fue descrito como sabor viejo, rancio o añejo y por último la furanona impartió aroma como a "pina", típicamente observado en jugo de naranja añejo.

El α - terpineol (cis- y trans- 1,8-p- mentanediol) proviene de las reacciones de hidratación catalizadas por ácido de los aceites cítricos principalmente d- limoneno.

La degradación ácida de azúcares fue probablemente responsable para la formación de:

- 1) 2- hidroxiacetil furano y
- 2) 3- hidroxil - 2 - pirona.

El furfural fue probablemente formado a partir de la degradación de ácido ascórbico.

Para incrementar la estabilidad durante el almacenamiento el jugo para enlatar es desaereado para remover el oxígeno disuelto y son extraídos los aceites, si es necesario, para retardar la conversión catalizada por ácido de limoneno y otros hidrocarburos terpénicos a α -terpineol, el cual imparte mal sabor en jugos almacenados a temperatura ambiente (131).

A continuación se presentan los productos de degradación de jugo de naranja reconstituido enlatado después de 12 semanas de almacenamiento a 35°C.

Tabla 17

Productos de degradación

Furfural	Cis-1,8-p-mentanediol
α - Terpineol	Trans-1,8-p-mentanediol
3- hidroxil-2- pirona	4- vinilguayacol
2- hidroxiacetilfurano	Acido benzoico
2,5-dimetil-4-hidroxil-3(2H)-furanona	5- hidroximetilfurfural

Fuente: Charalambous, 1993.

Una reciente forma de empaque ahora utilizada en Europa, Asia y Sur y Norte de América es el envasado aséptico, usualmente para este fin son utilizados los envases Brik-Pak[®] y Pure-Pak[®] en presentaciones de 250 y 250 mL (elaborados a partir de 6 o 7 láminas una de las cuales es una barrera contra el oxígeno).

El jugo envasado asépticamente es reconstituido a partir de concentrado de naranja o toronja y es generalmente distribuido y vendido a temperatura ambiente. Asépticamente envasado el jugo es un producto estéril, pero el oxígeno puede permearse a través de las costuras, ya que no es un producto herméticamente sellado (138).

Sin embargo, tiene una relativa larga vida de anaquel.

La capa más utilizada para el recubrimiento interior (del envase multicapa) es el polietileno de baja densidad, el cual absorbe los componentes volátiles del sabor no polares.

El mayor componente oleoso: el d- limoneno, así como otros hidrocarburos terpénicos y aldehídos presentes en el jugo, son preferencialmente absorbidos por el polietileno de baja densidad, de ese modo decrece el nivel de los componentes totales del sabor.

Cerca del 40% del limoneno total es absorbido durante la primera semana de almacenamiento, después la absorción del limoneno es mínima.

Un mayor contenido de aceite esencial es entonces adicionado (en este tipo de envases) para compensar la pérdida durante almacenamiento, pero ésta absorción preferencial puede alterar el balance de los componentes necesarios para lograr el sabor óptimo (119)

Otros factores que afectan la vida de anaquel del jugo envasado asépticamente es el almacenamiento y la temperatura a la cual se distribuyen.

En Sudamérica donde almacenar bajo refrigeración resulta muy costoso, estos jugos son transportados y vendidos a temperaturas que pueden alcanzar los 30°C. Bajo estas temperaturas de almacenamiento el deterioro del sabor ocurre muy rápido y se pierde la calidad de el sabor requerida por el consumidor.

En los E.U. es generalmente vendido en unidades de 250 mL y son considerados de poca calidad en cuanto al sabor que presentan.

Una recomendación para este tipo de productos es mantener a 21-23°C para prolongar su vida de anaquel. Una fecha de expiración de 6 meses a partir del tiempo en que se envasa es un dato común en la etiqueta.

Aunque algunos estudios han sugerido un máximo de vida de anaquel de 4-5 meses a 24°C, para una adecuada retención del sabor y del ácido ascórbico (138).

Los jugos concentrado congelados si son mantenidos bajo refrigeración, pueden llegar a mantener una buena calidad del sabor y una excelente retención de vitamina C.

Pueden ser almacenados a temperaturas de -18°C por poco más de un año (138).

5.3.2.1 Compuestos que contienen azufre

Diversos compuestos volátiles azufrados han sido observados en análisis del espacio de cabeza en envases de jugos cítricos (116,117,121). Los compuestos identificados incluyen: sulfuro de hidrógeno, dimetil sulfuro, matanotiol y dimetil disulfuro.

Se ha estudiado el rol del sulfuro de hidrógeno y del dimetil sulfuro en el mal sabor desarrollado en jugo de mandarina Satsuma (117).

Encontraron dimetil sulfuro en mayores concentraciones en jugos procesados que en jugo fresco y concluyeron que las características de mal sabor del jugo fueron causadas en parte por este compuesto.

Estos investigadores también han demostrado que el ión sulfonio de la S-metilmetionina fue el precursor del dimetil sulfuro en jugo de mandarina Satsuma tratado térmicamente. Otros trabajos reportan altos niveles de dimetil sulfuro que contribuyen de manera importante al mal sabor en jugos de toronja y naranja enlatados pero no se logró detectar estos compuestos en jugos que habían sido concentrados por evaporación térmica. Estos investigadores sugieren que altos niveles de dimetil sulfuro encontrados en jugos de toronja y naranja enlatados pudieron contribuir al mal sabor de estos jugos almacenados (121).

El sulfuro de hidrógeno ha sido observado en jugos cítricos frescos. Su concentración es incrementada por calor y durante el almacenamiento, puede reaccionar con aldehídos para producir los correspondientes tioaldehídos. Los productos de reacción de los aldehídos cítricos comunes (n-hexanal, 2- hexenal, 2-nonenal, neral y geranial) producen compuestos con aroma a “cebolla”. Se ha sugerido que el sulfuro de hidrógeno reacciona con furfural (el cual se forma durante el almacenamiento a altas temperaturas) para formar tiofurfural el cual tiene un aroma a “zorriño”.

5.3.2.2 Productos de descomposición de aceites esenciales

Algunos investigadores (13) encontraron que la presencia de aceite de la corteza o cáscara, en jugo de naranja, impartía un agradable aroma y ayudaba a restituir los componentes volátiles removidos durante los procesos de concentración. Sin embargo fue notorio que bajo ciertas condiciones la adición (aún de pequeñas cantidades) de este aceite produjo sabores objetables durante el almacenamiento.

Otros trabajos (11) sugirieron que el ambiente ácido del jugo promovió una serie de reacciones de hidratación-deshidratación de los terpenos constituyentes del aceite.

El d- limoneno es el aceite más predominante de la corteza, y sufre un gran número de reacciones de oxidación, la fuente de oxígeno para este tipo de reacciones proviene del agua adicionada y no del oxígeno disuelto (77).

Se ha encontrado una reducción por encima del 50% de d-limoneno en jugos de naranja almacenados con materiales que poseen al menos una barrera de polietileno de baja densidad, debido a un fenómeno de absorción (93).

A continuación se presenta una tabla que muestra los compuestos que generan el "mal sabor" derivados de la descomposición térmica de los aceites constituyentes de los cítricos.

Tabla 18
Compuestos de mal sabor que se generan a partir de aceites esenciales

Precursor	Compuestos derivados	Respuesta en el sabor
d-Limoneno	α -terpineol	Viejo, rancio, afejo
Linalol	α -terpineol	Viejo, rancio, afejo
	Nerol	Dulce, frutal
	Geraniol	Dulce, floral
α -terpineol	Cis-1,8-p-mentanediol	Dulce, alcanfor
Cis-1,8-p-mentanediol ^a	1,8-cineol	Pungente, alcanfor
	1,4-cineol	
Citral ^b	p-menta-1,5-dien-8-ol	No caracterizado
	p-menta-1(7),2-dien-8-ol	No caracterizado
	Cis-p-menta-2,8-dien-1-ol	No caracterizado
	Trans-p-menta-2,8-dien-1-ol	No caracterizado
p-menta-1,5-dien-8-ol	p-cimen-8-ol	No específico
p-menta-1(7), 2-dien-8-ol	p-cimeno	Terpeno
	α -p-dimetilestireno	Terpeno
	p-cimeno	terpeno

^a También conocido como cis-terpineol

^b Mezcla isomérica de nerol y geraniol

Fuente: Charalambous, 1993.

Algunos de estos productos de descomposición han sido descritos como "aguarrás". En un experimento (3) se adicionó limoneno y linalool, para simular las condiciones que existen en el jugo y se notó una disminución de la concentración dependiente de la

temperatura. Ambos compuestos se degradaron a: α -terpineol y cis-1,8-p-mentanediol. Como se muestra en la tabla también se formaron nerol y geraniol. Aún cuando existe más d-limoneno que linalool, el linalool es mucho más reactivo y es responsable de la mayor cantidad formada de α -terpineol observada en almacenamiento.

El α -terpineol imparte una nota “rancia” o “añeja” al jugo, también puede formar a través de hidratación catalizada por ácido el cis-1,8-p-mentanediol (131) y éste puede sufrir adicionalmente otras reacciones para producir 1,4-cineol y 1,8-cineol.

Estudios recientes han comprobado que los empaques de polipropileno minimizan la formación de α -terpineol (62).

Algunos investigadores (11) atribuyeron el aroma de “aguarrás” a los cineoles con la contribución de los hidrocarburos terpénicos y el limoneno.

El 1,4-cineol es producido bajo condiciones ácidas a temperaturas altas de almacenamiento, es considerado como el responsable de la pungencia típica y del sabor a “alcanfor” en jugos que han sufrido abuso de almacenamiento.

El citral (una mezcla de neral y geranial) en jugos de lima y limón, produce una mezcla isomérica de p-menta-1(7), 2-dien-8-ol y p-menta-1,5-dien-8-ol, debido a una serie de reacciones de hidratación/deshidratación catalizadas por ácido (58,90).

Estos dos compuestos pueden sufrir reacciones adicionales para producir tres compuestos de mal olor: p-cimeno-8-ol, p-cimeno y α ,p-dimetilestireno (90).

En aceites de lima y limón, el γ -terpineno es degradado para formar p-cimeno un compuesto de mal sabor (5,51).

5.3.2.3 Compuestos fenólicos

Algunos compuestos fenólicos que dan “mal sabor” son producidos durante el almacenamiento. El 4-vinilguayacol se ha identificado como el compuesto más potente causante del mal olor en jugo de naranja almacenado (131).

Cuando se adiciona a jugo fresco a un nivel de 0.075 ppm imparte un aroma a fruta vieja o podrida. Cantidades considerables de 4-vinilguayacol (0.6-1.6 ppm) fueron encontrados en jugo de naranja almacenado por 12 semanas a 35°C.

El 4-vinilguayacol formado durante almacenamiento se ha obtenido a partir de precursores que carecen de olor como el ácido ferúlico, debido a una serie de reacciones de descarboxilación térmica de éste ácido.

La producción de 4-vinilguayacol a partir de ácido ferúlico ha sido encontrado en cerveza (85) en los productos de fermentación de granos (133) y en jugo de naranja, lo cual provoca una reducción en la calidad del aroma (84).

Investigaciones recientes acerca de la formación del 4-vinilguayacol (82) indican que la fortificación del jugo de naranja con glutatión, L-cisteína, o N-acetil-L-cisteína a concentraciones debajo de 4.0 mM no tuvieron efecto sobre la formación de guayacol y el oscurecimiento, pero inhibieron la degradación del ácido ascórbico durante la pasteurización.

El almacenamiento de el jugo de naranja por 12 semanas a 25°C resultaron en un contenido de guayacol que alcanzaba el umbral del gusto, la fortificación con concentraciones superiores de tioles redujeron la formación de guayacol y el oscurecimiento. La fortificación con tioles a concentraciones debajo de 4 mM redujeron la formación de guayacol, degradación de ácido ascórbico y oscurecimiento.

Aunque existe una pequeña cantidad de ácido ferúlico libre en jugo de naranja, la mayor cantidad se encuentra ligada en forma de complejo (feruloil putrescina). Esta última, ha sido identificada y cuantificada en jugo de naranja (140).

Otras formas ligadas (complejos) de ácido ferúlico como:

feruloil glucosa,
ácido (E)-2-O-feruloilgalactórico,
ácido(E)-2-O-feruloilaldárico y
ácido(E,E)-2,4-O-diferuloilaldárico

han sido identificados en años recientes (99,103,104).

La acidez y el procesamiento térmico aunado a temperaturas altas de almacenamiento, generan las condiciones ideales para la liberación del ácido ferúlico de sus formas ligadas (77).

Los complejos son la fuente de ácido ferúlico libre. Algunos investigadores encontraron que la concentración de ácido ferúlico libre en jugo de naranja se duplicó después de la pasteurización en laboratorio.

También encontraron cantidades considerablemente altas de ácido ferúlico libre en jugo de naranja comercial el cual se atribuye a efectos de procesamiento.

Altas concentraciones de ácido ferúlico resultó en jugos con baja aceptación en la escala hedónica de sabor (84).

5.3.2.4 Reacciones de Oscurecimiento no enzimático

Un gran número de los productos obtenidos de las reacciones de oscurecimiento no enzimático, proviene de reacciones de deterioro en las que participan: los azúcares, los aminoácidos y el ácido ascórbico.

La degradación inducida por calor permite la formación de furanos, pironas, ciclopentadienos, carbonilos, pirroles y ácidos, los cuales poseen sabores de calidad objetables aún a bajas concentraciones.

Los furanos parecen determinar en gran medida el olor en general de los productos cítricos procesados.

Desde el punto de vista sensorial, los derivados furanos son considerados constituyentes muy importantes del aroma. Estos imparten olores dulces, frutales y acaramelados.

El hidroximetilfurfural ha sido el principal compuesto carbonílico que se incrementa durante el almacenamiento del jugo de toronja en altas temperaturas. Sus propiedades sensoriales han sido descritas como a "caramelo" (32)

Otro predominante furano llamado furfural es descrito con aroma dulce y como a "pan". Este furano puede interactuar con Sulfuro de hidrógeno del jugo para producir tiofurfural, un compuesto con olor "azorrillado" (11).

El furfural tiene un rol importante en el monitoreo de calidad de jugos cítricos (81) y tiene una especial participación en el oscurecimiento. La fuente principal de furfural en jugos añejados es por degradación oxidativa del ácido ascórbico (64).

El daño térmico se mide por la formación de furfural y se han desarrollado métodos que detectan 5 ng/Lt , basados en la destilación y reacción coloreada con anilina. La presencia de 50 ng/Lt es detectable organolépticamente y corresponde a excesivo tratamiento térmico en medio ácido.

El furfural es ampliamente utilizado porque:

- 1 - El contenido de furfural en jugo fresco es virtualmente cero mientras que las cantidades crecen y se acumulan en jugo que ha sufrido abuso de almacenamiento.
- 2.- El furfural puede ser destilado fácilmente a partir de un jugo.
- 3.- El furfural es fácilmente determinado por colorimetría, HPLC (High Performance Liquid Chromatography) o Cromatografía líquida y por GC (Gas Chromatography) o Cromatografía de gases.

4.- Las correlaciones entre el mal sabor y el furfural son excelentes aún cuando no contribuye al mal olor de los jugos añejados.

Investigaciones recientes (83) en jugos de naranja almacenados a 45°C por 7 y 14 días generaron:

- 1) Oscurecimiento enzimático y
- 2) Una concentración incrementada de productos resultantes de la degradación del azúcar como 5- hidroximetilfurfural (HMF) y 2,5-dimetil-4-hidroxi-3(2H)-furanona (DMHF).

La adición de L-cisteína (2.5-12.3 mM) reduce significativamente el oscurecimiento y la formación de HMF y DMHF en estos 14 días de almacenamiento.

La retención de ácido ascórbico se incrementó con el aumento en las concentraciones de L-cisteína.

Bajos niveles de L-cisteína y N-acetil-L-cisteína (2.5 mM y menores) reducen el oscurecimiento y la formación de DMHF, pero sólo la L-cisteína reduce la degradación del ácido ascórbico.

5.4 Desarrollo de colores atípicos

El color de los jugos cítricos se debe a los carotenoides. Estos compuestos C-40 son primariamente responsables de las pigmentaciones rojas, anaranjadas y amarillas encontradas en jugos cítricos.

Los carotenoides cítricos pueden existir como carotenos en cadenas hidrocarbonadas o bien como xantofilas oxigenadas.

La gran mayoría de xantofilas cítricas son esterificadas con ácidos grasos y son razonablemente estables.

Los carotenos son responsables del color rojo en toronjas rosadas y rojas y son relativamente inestables en estos casos. *Deben ser protegidos de el oxígeno y almacenados bajo condiciones de refrigeración.*

El color del jugo de toronjas rosadas y rojas se desvanece durante el almacenamiento a temperatura ambiente con un simultáneo oscurecimiento del jugo (129).

Este oscurecimiento es de naturaleza no enzimática.

5.4.1 Estabilidad del color

El oscurecimiento de jugos cítricos durante el almacenamiento ocurre con mayor frecuencia en jugos cítricos que son almacenados a temperatura ambiente, en envases que no poseen barreras efectivas contra el oxígeno y en ausencia de antioxidantes.

El jugo de naranja y toronja es enlatado en envases de estaño o esmaltados con estaño y aluminio (138).

El jugo en latas de estaño es almacenado y distribuido a temperatura ambiente excepto en las pequeñas máquinas de expendio en donde es vendido a temperaturas de refrigeración.

Como todas las demás bebidas de jugos cítricos, las bajas temperaturas aumentan la vida de anaquel.

El deterioro del jugo enlatado es acelerado a temperaturas por encima de los 27°C (78). Las latas de estaño protegen el color y la vitamina C más que las latas esmaltadas, por la acción protectora que ofrece el estaño contra la oxidación de los componentes del jugo (138).

En estudios recientes, realizados en jugos envasados en empaques Tetra-Brik[®], se demostró que el oscurecimiento no enzimático se debe principalmente a los compuestos carbonílicos formados por la degradación del ácido ascórbico (106).

Investigaciones recientes (40) en jugos cítricos y soluciones modelo indican que la ruptura del azúcar a través de la Reacción de Maillard es iniciada por formación de amino-hexosas a partir de aminoácidos y azúcares presentes en jugos cítricos y procede a través del rearrreglo de Amadori (o Heyns) para producir desoxiamino-hexosas.

Estos compuestos desoxi sufren una serie de deshidrataciones, desaminaciones y enolizaciones para producir 1-desoxi-2,3-dicarbonilos o 3-desoxi-1,2-dicarbonilos. La ruta depende de una relación entre el pH del jugo y la basicidad de la amina. Los compuestos 1-desoxi además reaccionan para producir furanonas y pironas, mientras que los compuestos 3-desoxi producen furfurales y pirroles.

Ambas rutas son operables porque los 4 tipos de compuestos han sido encontrados en jugos cítricos.

Un pequeño trabajo ha sido reportado sobre este tema (75,108) . Se separaron cromatográficamente y se caracterizaron por espectrometría los pigmentos pardos formados en jugo de toronja blanca almacenado en envases de vidrio, mientras que sólo algunos picos largos fueron detectados del jugo almacenado en latas. Todos estos picos tuvieron su máximo de absorbancia a 400 nm. o por debajo de esta absorbancia.

El "índice de oscurecimiento" es usualmente determinado por absorbancia a 420 nm.

Otros investigadores (68) han desarrollado un método para clarificar jugos cítricos y medir el oscurecimiento a 420nm. Previo a su trabajo diversas longitudes de onda tuvieron que ser empleadas para medir el oscurecimiento.

La absorbancia a 420 nm. ha sido ampliamente aceptada como la medida de "índice de oscurecimiento". Los datos combinados de espectrometría y cromatografía de estos pigmentos pardos sugieren que las mediciones a longitudes de onda entre 390 y 400nm. podrían mejorar la sensibilidad de detección de estos pigmentos.

Recientemente se caracterizó la actividad antioxidante de pigmentos pardos aislados a partir de jugo de naranja almacenado (63).

La actividad antioxidante de estos extractos fue asignada a través de la formación de dienos conjugados a partir de la peroxidación del ácido linoléico. Los productos de la Reacción de oscurecimiento tuvieron una potente actividad antioxidante.

La vida de anaquel de los jugos de limón y toronja generalmente es menor que para la mayoría de los jugos de naranja y mandarina almacenados bajo condiciones similares. Las razones no son aún del todo claras ya sea que el oscurecimiento es más notorio en *jugos descoloridos o bien porque éstos sean más susceptibles.*

En un estudio acerca del efecto de la temperatura de almacenamiento y la fluctuación de la temperatura sobre la calidad de concentrados de naranja y toronja (60°Brix) empacados asépticamente dentro de tambores de acero (4) se utilizó el oscurecimiento para determinar la vida de anaquel, se reportó que el concentrado de naranja podía ser mantenido a 2°C por 18 meses, mientras que el concentrado de toronja no podía ser mantenido a esa temperatura por más de 6 o 7 meses.

Se encontró también que los embarques de concentrado de naranja no refrigerados fueron mas o menos estables, pero los concentrados de toronja no podían ser expuestos a las mismas temperaturas (temperaturas que excedieran los 15°C) por tan sólo algunos días, sin que se presentara de inmediato el oscurecimiento.

La cantidad de oxígeno inicial presente en el jugo puede influir sobre que tan rápido aparecerá el oscurecimiento.

Un estudio (105) mostró el efecto de 3 diferentes niveles de oxígeno disuelto inicial sobre el oscurecimiento en jugos de limón almacenados en envases de vidrio.

Un período retardado entre el envasado y el inicio del oscurecimiento fue inversamente proporcional al contenido de oxígeno disuelto inicial.

La cantidad de oxígeno disuelto disminuye rápidamente y se mantiene a muy bajos niveles (esto se observó en los tres casos). El índice de oscurecimiento se incrementó al incrementarse la temperatura de almacenamiento, después de un período de retardo inicial. Entonces el nivel de oxígeno y el índice de oscurecimiento no se correlacionan directamente.

Además se encontró que a pesar de las diferencias en el período de retardo inicial las velocidades de oscurecimiento posteriores no presentaron diferencias.

Otros estudios (35) en los que además de jugos cítricos se analizaron bebidas a base de frutas (12% de jugo) envasados en vidrio, Tetra Brik® o Pure Pak®, indicaron que la permeabilidad al oxígeno fue encontrado el principal factor limitante de la vida de anaquel durante 10 meses en almacenamiento a temperatura ambiente.

Una vida de anaquel satisfactoria fue alcanzada con envases revestidos con papel-aluminio-polietileno.

Particularmente el jugo de toronja fue el más inestable, mostrando defectos en color y sabor después de 2 meses de almacenamiento y no fue comerciable después de 6 meses.

La velocidad de degradación del color y el desarrollo del oscurecimiento están altamente asociados con la temperatura de almacenamiento para jugos de naranja elaborados asépticamente (39) jugos de toronja embotellados y enlatados (76) y jugo de mandarina almacenado en plástico o en envases de estaño libres de acero (87).

El menor oscurecimiento se encontró en jugo en jugo de naranja embotellados y almacenado a bajas temperaturas (66).

Sin embargo en jugos de toronja almacenados en botellas y latas, a temperaturas entre 10 y 50°C, por más de 18 semanas, demostraron que el oscurecimiento ocurre más rápido y de manera más intensa en jugos enbotellados que en los enlatados (76).

Estudios con jugo de naranja concentrado empacado asépticamente en bolsas flexibles y almacenado a 4, 15, 22 y 30°C por 6 meses, revelaron que los valores más grandes de oscurecimiento fueron para las muestras almacenadas a altas temperaturas, mientras que los valores mínimos se encontraron en las muestras almacenadas a temperaturas bajas, este oscurecimiento no enzimático fue monitoreado cada mes utilizando un colorímetro Hunter y la absorbancia a 420 nm (65).

Otros estudios (21) que confirman el efecto de la temperatura de almacenamiento sobre el oscurecimiento, fueron realizados analizando la cantidad de oscurecimiento formado en concentrado de naranja almacenado a -22.2, -6.7, 4.4 y 26.7°C. En 12 meses de almacenamiento no fueron observados cambios en el color para muestras almacenadas a temperaturas menores o iguales a 4.4°C. Mientras que en muestras almacenadas a 26.7°C fue observado el oscurecimiento después de sólo 2 o 3 meses.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las modernas técnicas en proceso de elaboración de jugos no permiten una pérdida de más del 4% de vitamina C.

Uno de los factores que más debe ser considerado es la temperatura de almacenamiento para evitar la pérdida de vitamina C.

Las pérdidas más significativas se han encontrado a temperaturas de almacenamiento de 50°C.

El tipo de envase tiene una importante influencia sobre la retención de vitamina. Los envases herméticamente sellados y las latas esmaltadas con recubrimiento de estaño muestran las mayores retenciones de vitamina C.

En cuanto a las vitaminas del complejo B, todas ellas han sido detectadas en jugos cítricos excepto la vitamina B₁₂.

Acerca de la estabilidad de la biotina y ácido fólico durante el almacenamiento no se tiene gran información en comparación se sabe que las vitaminas B₁ y B₂ y ácido pantoténico decrecen conforme aumenta el tiempo y la temperatura de almacenamiento.

En cuanto a niacina y las vitaminas B₆ permanecen relativamente constantes durante el almacenamiento.

Las causas más notables de la aparición de aromas extraños en jugos cítricos son:

- a) La contaminación bacteriana
- b) Los tratamientos térmicos excesivos durante la fabricación y
- c) La oxidación de terpenos y de lípidos durante el almacenamiento.

El alto contenido de ácido en los jugos cítricos previene el crecimiento de microorganismos patógenos, permite el crecimiento de bacterias ácido-tolerantes, levaduras y algunos mohos. Si bien estos microorganismos no son patógenos, destruyen la calidad de los jugos y los hacen indeseables para su consumo.

Sólo bacterias del género *Lactobacillus* y *Leuconostoc* han sido identificadas por afectar de manera significativa el sabor del jugo por la producción de diacetilo, el cual imparte un indeseable sabor a "mantequilla", sobre todo en jugos pasteurizados.

Las levaduras más comúnmente encontradas en jugos pasteurizados son:

- 1) *Saccharomyces cerevisiae*
- 2) *Rhodotorula*
- 3) *Zygosaccharomyces*

De las cuales *S. Cerevisiae* es la más asociada con el deterioro de jugos pasteurizados, ya que esta levadura producen una fermentación alcohólica que resulta en un sabor fermentado debido a la presencia de etanol y CO₂.

Rhodotorula no causa putrefacción pero está asociada a una pobre sanitización en la planta. Las levaduras son más resistentes a las presiones osmóticas que las bacterias y pueden sobrevivir fácilmente en concentrados cítricos, y aunque no todas las especies de levaduras son capaces de producir la fermentación, ésta llega a presentarse en forma inconsistente en los concentrados cítricos.

Especies de *Zygosaccharomyces* han sido aisladas de jugos concentrados congelados.

Aunque la putrefacción por mohos no es común (debido a sus bajas velocidades de crecimiento) casos aislados se han presentado en jugos pasteurizados y jugos mantenidos en frío, lo mejor es mantener un estado de alerta en todo momento sobretodo en los procesos posteriores a la pasteurización, manteniendo las mejores condiciones posibles de sanitización.

Sólo el jugo pasteurizado envasado herméticamente estará libre de putrefacción microbiana durante su vida de anaquel, a diferencia de los jugos concentrados, reconstituidos y no pasteurizados, a menos de que la sanitización sea muy cuidadosa y el producto sea *mantenido cerca del punto de congelación*.

Los tres principales compuestos que han sido encontrados como responsables del mal olor en jugos sometidos a altas temperaturas por períodos prolongados son:

1.- 4 – vinilguayacol, que genera un aroma a fruta vieja o podrida, y que es generado durante el almacenamiento a partir de ácido ferúlico, el cual se encuentra en forma de complejos en el jugo fresco y es hasta después de la pasteurización cuando se presenta en estado libre como ácido ferúlico.

2.- 2,5-dimetil-4-hidroxi-3(2H)-furanona, también conocido como furaneol, que genera un aroma como a "piña", y que es producido a partir de hexosas y aminoácidos a través de la reacción de Maillard o de oscurecimiento no enzimático.

3.- α -terpineol, el cual genera un aroma "rancio" o "añejo", el cual proviene de la degradación de uno de los aceites esenciales más predominantes en los jugos cítricos el d-limoneno en una reacción de hidratación catalizada por ácido. Este compuesto ha sido propuesto como indicador de la historia del *almacenamiento en jugos cítricos*.

Aunque el daño térmico se mide por la formación de furfural, éste compuesto (generado por las reacciones de oscurecimiento no enzimático) no contribuye al mal olor de los jugos cítricos añejos, sin embargo las correlaciones entre el mal sabor y el furfural son excelentes. Investigaciones recientes han demostrado que la adición de L-cisteína reduce significativamente el oscurecimiento y la formación de hidroximetilfurfural y furaneol en almacenamiento.

La retención de ácido ascórbico se incrementa con el aumento en las concentraciones de L-cisteína.

El oscurecimiento de jugos cítricos durante el almacenamiento ocurre con mayor frecuencia en jugos cítricos que son almacenados a temperatura ambiente, en envases que no poseen barreras efectivas contra el oxígeno y en ausencia de antioxidantes.

La vida de anaquel de los jugos de limón y toronja generalmente es menor que para la mayoría de los jugos de naranja y mandarina almacenados bajo condiciones similares. Las razones no son aún del todo claras ya sea que el oscurecimiento es más notorio en jugos descoloridos o bien porque éstos sean más susceptibles.

La cantidad de oxígeno inicial presente en el jugo puede influir sobre que tan rápido aparecerá el oscurecimiento.

El índice de oscurecimiento se incrementa al aumentar la temperatura de almacenamiento. El menor oscurecimiento se ha encontrado en jugo en jugos de naranja embotellados y almacenado a bajas temperaturas.

Por lo tanto las principales variables que previenen la formación de malos sabores y colores indeseables en los jugos cítricos son la reducción de la cantidad de oxígeno en contacto con el producto y la reducción de la temperatura tanto como sea posible durante el procesamiento y el almacenamiento.

Debe hacerse énfasis en la necesidad que existe por generar una mayor cantidad de estudios que hagan referencia a la vida de anaquel de los jugos cítricos, realizando pruebas de laboratorio aceleradas, manejando las variables que mayor impacto tienen en la vida de anaquel del producto como lo son: la carga microbiana inicial, la cantidad de oxígeno y las temperaturas tanto de proceso como de almacenamiento.

VII. BIBLIOGRAFIA

1. ALBEROLA, J., CASAS, A., y PRIMO, E. *Rev Agr. Tecn. Alim.*, (74) 1967.
2. APHA. *Recommended Methods for the Microbiological Examination of Foods*, 2nd Edition. Am Public Health Assoc., New York, 1966.
3. ASKAR, V.A., BIELIG, H.J. y TREPTOW, H. *Dtsch. Lebensm. Rundsch.* (69)162-360, 1973.
4. BERK, Z. y MANNHEIM, C.H., *J. Food Process. Preserv.* (10)281, 1986.
5. BERRY, R.E. y VELDHIJIS, M.K. en NAGY, SHAW, y VELDHIJIS (eds.) *Citrus Science and Technology*, vol. 2, AVI Publishing Co., Westport, C.T. 1977.
6. BERRY, R. E., BISSETT, O.W. y VELDHIJIS, M.K. *Citrus Ind.* (52) 6, 1971.
7. BERRY, J.M., WITTER, L.D. y FOLINAZZO, J.F. *Food Technol.* (10) 553, 1956.
8. BETTS, G. "Predicting microbial spoilage". *Food Processing*, UK. (66) 23-24, (1997).
9. BEUCHAT, L.R. *Journal of Food Science*, (47) 1679, 1982.
10. BISSETT, O.W. y BERRY, R.E., *Journal of Food Science*, (40)178, 1975.
11. BLAIR, J.S., GADAR, E.M., MASTERS, J.E. y RIESTER, D.W. *Food Res.* (17) 235, 1952.
12. BONIS, F., *Citrus Ind.*, June 14, 1989.
13. BOYD, J.M. y PETERSON, G.T. "Quality of Canned Orange Juice". *Ind. Eng. Chem.*, (37), 370-372, 1945.
14. BOWEN, E.R. *Proc. Fla. St. Hort. Soc.*, (88) 304-308, 1975.
15. BRAVERMAN, J.B.S. *Citrus Products*. Interscience Publishers Inc U.S.A 175-179, 258-261, 1949.
16. CADON LONGORIA CECILE. Tesis. "Estudio preliminar de una planta de jugo de naranja". Facultad de Química. UNAM. 1997.
17. CAMERON, R.G., BAKER, R.A., BUSLIG, B.S. y GROHMANN, K. "Effect of juice extractor settings on juice cloud stability". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. (47) 2865-2868, 1999.
18. CHARALAMBOUS, G. (ed.) *Shelf Life Studies of Foods and Beverages*. Elsevier Science Publishers B.V. U.S.A. 755-776, 1993.
19. CHARALAMBOUS, G. (ed.) *Shelf Life Studies of Foods and Beverages*. Elsevier Science Publishers B.V. U.S.A. 719-729, 1986.
20. COHEN, A., *Bull. Res. Council. Isr.* (50)181, 1956.
21. CRANDALL, P.G. y GRAUMLICH, T.R., *Proc. Fla. State Hort. Soc.* (95) 198, 1982.
22. CURL, A.L., *Food Res.* (14) 9, 1949.
23. DESZYCK, E.J., KOO, R.C.J. y TING, S.V. *Proc. Soil Crop Sci. Soc. Fla.* (18)129, 1958.
24. DI GIACOMO, A., y CALVARANO, M. I. Componenti degli Agrumi. *Stazione Sper. per l'ind. essence deriv. agrum.* Reggio Calabria (1972).
25. EAKS, I.L., *J. Food Sci.* (26) 593, 1961.
26. EDDY, C.W., *Ind. Eng. Chem.* (28) 480, 1936.
27. EDRISSI, M. y KOOSHKABADI, H. *Iran J. Agric. Res.* (3) 81, 1975.
28. EMBLETON, T.W. y JONES, W.W., *Calif. Citrogr.* (51) 269, 1966
29. FELLERS, P.J., *J. Food Sci.* (53)1699, 1988.
30. FELLERS, P.J. y BARRON, R.W., Florida Department of Citrus, unpublished results, (1975).
31. FLAIR FLOW REPORTS. "Product and process innovation for the citrus industry". (211)96, 1996.
32. FORS, S. WALLER, G.R. y FEATHER, M.S. (eds.). *The Maillard Reaction in Foods and Nutrition*. American Chemical Society, Washington, D.C. 185, 1983.
33. FRENCH, R.B. y ABBOTT, O.D., *J. Nutr.* (19)223, 1940.
34. GHERARDI, S., VICINI, E., TRIFIRO, A. BAZZARINI, R. y DECIO, P.L. "The use of ultrafiltration for the production of high quality orange juice". *Fruit Processing* (2)164-166, 1992.
35. GHERARDI, S., BAZZARINI, R., BIGLIARDI, D., TRIFIRO, A. y MONTANARIA, A. *Ind. Conserve* (57)162, 1982.
36. GOODNER, J.K., BRADDOCK, R.J., PARISH, M.E. y SIMS, C.A. "Cloud stabilization of orange juice by high pressure processing". *Journal of Food Science*. (64) 699-700, 1999.
37. GOODNER, J.K., BRADDOCK, R.J. y PARISH, M.E. "Inactivation of pectinesterase in orange and grapefruit juices by high pressure". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. (46) 1997-2000, 1998.
38. GRANT, P.M. "Citrus Juice Concentrate Method". United States Patent (US5188857) 1993.
39. GRAUMLICH, T.R., MARCY, J.E. y ADAMS, J.P. *J. Agric. Food Chem.* (34)402, 1986.
40. HANDWERK, R.L. y COLEMAN, R.L., *J. Agric. Food Chem.* (36) 231, 1988
41. HARDING, P.L. y SUNDAY, M.B., *U.S. Dep. Agric. Tech. Bull.* 988, 1949
42. HARDING, P.L. y FISHER, D.F., *U.S. Dep. Agric. Tech. Bull.* 886, 1945.
43. HARDING, P.L., WINSTON, J.R. y FISHER, D.F. *U. S. Dep. Agric. Tech. Bull.* 753, 1940.

44. HAYS,G.L. "The isolation, cultivation and identification of organisms which have caused spoilage in frozen concentrated orange juice". 64th Ann. Meeting, Proc. Florida State Hort. Soc. 135, 1951.
45. HENRY, R E. y CLIFCORN, L.E , Canning Trade (70)31,1948.
46. HICKS, D Production and Packaging of Non Carbonated Fruit Juices and Fruit Beverages. Van Nostrand Reinhold. U.S A. 10-13, 15-18, 24, 25, 37-47, 1990.
47. HILGEMAN, R.H. y VAN HORN, C.W., Univ. Ariz. Agric. Exp. Stn. Bull. 238 ,1955.
48. HILL, C.E., WENZEL,F.W. y BARRETO,A. "Colorimetric method for detection of microbiological spoilage in citrus juices". Food Technology. (8) 168-171, 1954.
49. HOFSSOMMER, H.J., FISCHER-AYLOFF-COOK-K.P. y RADCKE,H.J. "New technological aspects-removal of bitterness from citrus juices". Fruit Processing (1) 15-17, 1991.
50. HUELIN, F E , COGGIOLA,I.M., SIDHU,G S. y KENNETH,B.H. J. Sci. Food Agric. (22)540, 1971.
51. IKEDA, R.M., STANLEY,W.L., VANNIER,S.H. y ROLLE,L.A. Food Technol. (15) 379, 1961.
52. JONES, W.W., EMBLETON,T.W., BOSWELL,S.B., GOODALL,G.E. y BARNHART,E.L. J. Am. Soc. Hortic. Sci (95)46, 1970.
53. JONES, W.W., EMBLETON,T.W. y STEINACKER,M.L. Calif. Citrogr. (43) 12, 1957.
54. JONES, W.W., y PARKER, E.R., Proc. Am. Soc. Hortic. Sci. (53) 91, 1949.
55. JONES, W.W. y PARKER, E.R., Am. Soc. Hortic. Sci. Proc. (50) 195, 1947.
56. KEFFORD, J.F., MCKENZIE,H.A. y THOMPSON,P.C.O. J. Sci. Food Agric. (10) 51, 1959.
57. KENNEDY, J.F., RIVERA,Z.S., LLOYD,L.L., WARNER,F.P. y JUMEI,K "L-Ascorbic acid stability in aseptically processed orange juice in TetraBrik cartons and the effect of oxygen". Food Chemistry, (45) 327-331, 1992.
58. KIMURA, K., NISHIMURA,H , IWATA,I. y MIZUTANI,J. J. Japan. Soc. Food Sci. Tech. (31) 761, 1984.
59. KOPELMAN, I.J. y RAUCHWERGER, M., J. Food Process. Preserv. (8)241. 1985.
60. KURATA, T. y SAKURAI, Y., Agric. Biol. Chem. (31)170, 1967.
61. LAMB, F.C., Ind Eng. Chem. (38)860, 1946.
62. LEBOSSE,R., DUCRUET,V., FEIGENBAUM,A Journal of Agricultural and Food Chemistry, (45) 2836-2842, 1997.
63. LEE, H.S., J. Agric. Food Chem. (40)550, 1992.
64. LEE, H.S. y NAGY, S. Food Technol. (42)91-97, 1988.
65. MARCY, J.E , HANSEN,A.P. y GRAUMLICH,T.R. J. Food Sci. 54 (1989) 227.
66. MANNHEIM, C.H. y HAVKIN, M., J. Food Process. Preserv. (5) 1,1981.
67. MARSANIJA, I. I., Trudy Sukhum. Opytn Stan. Efiromaslichn Kul't. (9)49, 1970.
68. MEYDAV, S., SAGUY,I. y KOPELMAN,I. J. Agric. Food Chem. (25) 602,1977.
69. MI-KYUNG-JWA, SANGBIN-LIM, YOUNG-TACK-YANG y JEONG-SAM-KOH. "Effect of supercritical carbon dioxide treatment on quality of citrus juice". Korean Journal of Food Science and Technology; (28) 750-755, 1996.
70. MOORE, E.L., ATKINS,C.D., HUGGART,R L. y McDOWELL,L.G. Citrus Ind. (32) 8- 14, 1951.
71. MOORE, E.L., WIEDERHOLD,E. y ATKINS,C.D. Fruit Prod. J. (23) 270, 1944.
72. MOORE, E L., WIEDERHOLD,E., ATKINS,C.D., McDOWELL,L.G. y CANNER (98) 24, 1944.
73. MURDOCK, D.I. y HATCHER,W.S. Journal of Milk Food and Technology. (38) 393, 1975
74. MURDOCK, D.I., TROY,V.S. y FOLINAZZO,J.F. "Evaluation of plating media for citrus concentrates". Food Technology. (6) 127-181, 1952.
75. NAGY, S., ROUSEFF,R.L., FISHER,J.F. y LEE,H.S. J. Agric. Food Chem (40) 27, 1992.
76. NAGY, S., LEE,H., ROUSEFF,R.L , LIN,J.C.C. J. Agric. Food Chem. (38) 343, 1990.
77. NAGY, S , ROUSEFF,R.L. y LEE,H.S. in Thermal Generation of Aromas T.H. Parliment, R. J. McGorin y C.H. Ho (eds.), ACS Symposium Series 409, American Chemical Society, Washington, D.C. 1989.
78. NAGY, S. Journal of Agricultural and Food Chemistry. (28)8-18, 1980.
79. NAGY, S. y SHAW, P.E., Velhuis, M K. (ed.), "Citrus Science and Technology", vol. 2, AVI Publishing Co., Westport, CT, 1977.
80. NAGY, S. y SMOOT, J.M., J. Agric. Food Chem. (25)135,1977.
81. NAGY, S. y RANDALL, V. J. Agric. Food Chem. (21)272-275, 1973.
82. NAIM, M., SCHUTZ,O., ZEHAVI,U., ROUSEFF,R.L. y HALEVA-TOLEDO,E. J. Agric. Food Chem. (45) 1861-1867, 1997.
83. NAIM, M., WAINISH.S., ZEHAVI,U., PELEG,H , ROUSEFF,R.L. y NAGY,S. J. Agric. Food Chem. (41)1355-1358, 1993.
84. NAIM, M., STRIEM,B.J , KANNER,J. y PELEG,H. J. Food Sci. (53)500, 1988.
85. NARZISS, L , MIEDANER,H. y NITZSCHE,F. Monatssch. Brauwissenschaft (43)96, 1990.

86. NIKDEL,S., BURGNER, P.E. y GRILLO, A.C. "System and method for pasteurizing citrus juice using microwave energy". United States Patent (US5514389) 1996
87. OHTA, H., YOSHIDA,K., HYAKUDOME,K., AOYAGI,H., OKABE, M. y SUSUKIDA,W. J. Japan. Soc. Food Sci. Technol. (30)200, 1983.
88. PARISH, M.E. y HIGGINS,D.P. J. Food Protect. (52) 261, 1989.
89. PARISH, M.E. Food Industry Short Course, R.F. Matthews (ed.), University of Florida, Gainesville, FL 1988.
90. PEACOCK, V.E. y KUNEMAN, D.W., J. Agric Food Chem (33)330, 1985.
91. PETERON, J. y DWYER,J. "Flavonoids. Dietary occurrence and biochemical activity" Nutrition Research (18)1995-2018, 1998.
92. PETERSON, G.T., Continental Can Co. Bull. 18, 1949.
93. PIEPER,G., BORGUDD,L., ACKERMANN,P. y FELLERS,P. Journal of Food Science, (57) 1408-1411, 1992.
94. PRIMO, E. Química Agrícola. Alhambra. España. 373-442, 1979.
95. PRIMO, E., KOEN, J., y ROYO, J. Rev. Agroq. Tecn. Alim , (3) 9-15, 1963.
96. PULLEY, G.N. y VON LOESECKE, H.W., Ind. Eng. Chem. (31)1275, 1939.
97. REDD, J.B., HENDRIX,D.L. y HENDRIX,C.M. Quality Control Manual for Citrus Processing Plants, AgScience, Inc., Auburndale, FL. 1992.
98. REITZ, H.J. y KOO, R C J , Proc. Am. Soc. Hortic. Sci. (75)244, 1960.
99. RESCHKE, A. y HERRMANN, K , Z. Lebensm. Unters-Forsch. (173)458, 1981.
100. REUTHER, W. (ed.), The Citrus Industry, vol. III, University of California Press, Berkeley, 1973.
101. REUTHER, W. y NAUER, E.M., unpublished data, Univ. Calif. Exp. Stn., Riverside, 1972.
102. RIESTER, D.W., BRAUN,O.G. y PEARCE,W.E. Food Ind. (17)742, 1945.
103. RISCH, B. y HERRMANN, K., Z. Lebensm. Unters-Forsch. (187)530, 1988.
104. RISCH, B., HERRMANN,K., WRAY,V. y GROTJAHN,L. Phytochemistry (26)509, 1987.
105. ROBERTSON, G.L. y SAMANIEGO, C.M.L., J. Food Sci. (51)184, 1986.
106. ROIG, M.G., BELLO,J.F., RIVERA,Z.S., LLOYD,L.L. y KENNEDY,J.F. Biotechnology Progress, (12)281-285, 1996.
107. ROSE, E., Food Res. (9)27, 1944.
108. ROUSEFF, R.L., FISHER, J.F. y NAGY,S. J. Agric. Food Chem. (37) 765, 1989.
109. ROUSEFF, R.L. Abstr. Pittsburgh Conf. Anal. Chem. Appl. Spectroscop. (28)173,1977.
110. ROY, W.F. y RUSSELL, H.E, Food Ind (20)110, 1948.
111. RUSHING, N.B., VELDHUIS,M.K. y SENN,V.J. Appl. Microbiol. (4) 97, 1956.
112. SADLER, G.D., in Proc. Forty-second, Annual Citrus Processor's Meeting, Citrus Research and Education Center, Lake Alfred, Fl. 1991.
113. SADLER, G., Proc. Food Industry Short Course, R.F. Matthews (ed.), University of Florida, Gainesville. 1988
114. SAGUY, I. KOPELMAN,I.J. y MIZRAKI,S. J. Food Proc. Eng. (2)213, 1978.
115. SALE, J.W., J. Assoc. Off. Agric. Chem. (30)673, 1947.
116. SAWAMURA, M., SHIMODA,M. y OSAJIMA,Y. J. Agric. Chem. Soc. Japan. (52)281, 1978.
117. SAWAMURA, M., SHIMODA,M., YONEZAWA,T. y OSAJIMA, Y. J. Agric. Chem. Soc. Japan. (51)7, 1977.
118. SCHRADER, G.W. y KANE,L. "Best practices for fresh juice production". Transactions of the Citrus Engineering Conference, (42)1-15, 1996.
119. SHAW, P.E., "Volatile Compounds in Food and Beverages". Maarse, H. (ed.), Marcel Dekker, New York. 1991.
120. SHAW, P.E. y MOSHONAS, M.G. "Ascorbic Acid retention in orange juice stored under simulated consumer home conditions". Journal of Food Science, (56)867-868, 1991.
121. SHAW, P.E. y WILSON, C.W., J. Agric. Food Chem (30)685, 1982.
122. SINCLAIR, W.B. (ed.), "The Orange: Its Biochemistry and Physiology", University of California Press, Riverside, 29, 1961.
123. SITES, J.W. y REITZ, H.J., Proc. Am. Soc. Hortic. Sci. (56)103, 1951.
124. SITES, J.W., Proc. Fla State Hortic. Soc. (60)55, 1947.
125. SMITH, P.F., in "Proc. First Int. Citrus Symp.", Chapman, H.D., Ed., University of California, Riverside, 1559, 1969.
126. SMITH, P.F. y RASMUSSEN, G.K., Proc. Fla. State Hortic. Soc. (74)32, 1961.
127. SMITH, P.F. y RASMUSSEN, G.K., Proc. Fla. State Hortic. Soc. (73)42,1960.
128. SMOOT, J.M. y NAGY, S , J. Agric. Food Chem. (28) 417-421, 1980.
129. STEIN, E R., BROWN,H.E. y CRUSE,R.R. J. Food Sci. (51) 574, 1986.
130. STEPAK, Y., y LIFSHITZ, A.: J. Assoc. Off. Anal. Chem., (54)1215-1217, 1971

131. UELGEN, N. y OEZILGEN, M. "Determination of optimum pH and temperature for pasteurization of citrus juices by response surface methodology". *Zeitschrift fuer Lebensmittel Untersuchung und Forschung*; (196)45-48, 1993.
132. TATUM, J.H., NAGY, S. y BERRY, R. J. *Food Sci.* (40)707, 1975.
133. TELLER, H.K., PARISH, M.E. y BRADDOCK, R. J. *Proc. Fla State Hortic. Soc.* 105, 1992.
134. THURSTON, P.A. y TUBB, R.S., *J. Inst. Brew.* (87)177, 1981.
135. TING, S.V., in "Citrus Science and Technology", Nagy, S., Shaw, P.E., Veldhuis, M.K., (eds.), AVI Publishing Co., Westport, CT, (2) 401, 1977.
136. TING, S.V., MOORE, E.L., McALLISTER, J.W., STREIFF, R.R., HSU, J.N.C. y HILL, E.C. *Proc. Fla State Hortic. Soc.* (87) 206, 1974.
137. USDA, *Chemistry and Technology of Citrus, Citrus Products and Byproducts*, U.S. Dep. Agric., Washington, D.C. 1962.
138. VARSEL, C. en Nagy, S. y Attaway, J.A. (eds.), *Citrus Nutrition and Quality*, ACS, Symposium Series 143, Washington, D.C. 1980.
139. WIDODO, S.E.; SHIRAISHI, M.; SHIRAISHI, S. "On the interpretation of degree brix value for the juice of acid citrus". *Journal of the Science of Food and Agriculture.* (71) 537-540, 1996.
140. WHEATON, T.A. y STEWART, I., *Nature* (206)620, 1965.
141. WINGERATH, T., STAHL, W., KIRSCH, D., KAUFMANN, R. y SIES, H. "Fruit juice carotenol fatty acids esters and carotenoids as identified by matrix-assisted laser desorption ionization mass spectrometry". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, (44)2006-2013, 1996.
142. WINNICZUK, P.P. y PARISH, M.E. "Minimum inhibitory concentrations of antimicrobials against micro-organisms related to citrus juice". *Food Microbiology* (14)373-381, 1997.
143. YAMAKI, Y.T. "Organic acids in the juice of citrus fruits". *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* (58)587-594, 1989.