

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
ESCUELA DE TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

PREDICCIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE UN JUGO CONCENTRADO DE NARANJA

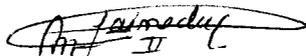
PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA  
OPTAR POR EL GRADO DE LICENCIATURA EN TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

YORLENY MARIA ARAYA QUESADA

CIUDAD UNIVERSITARIA RODRIGO FACIO  
MAYO, 2003

Proyecto de graduación sometido a consideración de la Escuela de Tecnología de Alimentos como requisito final para optar por el grado de Licenciatura en Tecnología de Alimentos

Aprobado por:



---

Licda. María Lourdes Pineda Castro  
Directora del proyecto



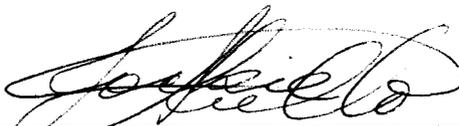
---

Licda. Danna Bolaños Chaverri, MBA  
Asesora del proyecto



---

Licda. Lea Wexler Goering  
Asesora del proyecto



---

Licda. Jacqueline Aiello Ramírez  
Presidente del Tribunal



---

M.S.c. Mónica Lois Martínez  
Profesora Designada

## **DEDICATORIA**

Gracias Señor por haberme regalado la vida, pero sobre todo por permitirme vivirla rodeada de tantas personas que me aman. A Ti Dios, a Papi, a Mami, a Lorena, a Marielos, a Ana, a Hernán, a Marcos Andrés y a Marcos, les dedico este trabajo que representa el esfuerzo de toda mi vida, porque sin ustedes no sería lo que soy ahora, ustedes son mi apoyo, mi motivación, y mi orgullo. Los amo de todo corazón.

## RECONOCIMIENTOS

A Elizabeth Monge (mi tita) por ser mi segunda madre, tu apoyo fue lo más importante durante mi carrera universitaria.

A Miguel Fernández (mi tito), gracias por haberme apoyado tanto.

A Javier, Angelita y Sarih, los niños que iluminaron mi vida, gracias por haber compartido juegos, secretos, ilusiones y tanto cariño, los quiero mucho.

A Javier Rivera y Angela Fernández, gracias por tanto apoyo, confianza, amistad y aprecio que me han brindado.

A Diego Montero y Elizabeth Fernández, por sus consejos, apoyo y cariño.

A Luisa y Miguel Fernández M, por convertirse en mis hermanos y brindarme la oportunidad de compartir con ustedes tantos momentos especiales.

A María Lourdes Pineda, por su excelente labor como directora del proyecto, muchas gracias.

A Danna Bolaños y Lea Wexler, profesoras asesoras por la guía brindada en el desarrollo de este proyecto.

A la empresa por haberme permitido realizar el estudio en sus instalaciones, así como al personal de la misma por su valiosa colaboración.

A Jacqueline Aiello, porque no te limitaste a lo académico, sino que me brindaste tu amistad y apoyo durante mi carrera.

A Marcela Coto, Lilliana Quirós y Aurea Ellis, porque el tiempo que trabajé con ustedes tuve la oportunidad de aprender mucho y sobre todo de compartir momentos muy agradables, muchas gracias por su apoyo y comprensión.

A René Somarriba por darme apoyo durante la fase final del proyecto.

A Jurly Rodríguez, por su amistad sincera, muchas gracias.

A Kattia Solís, por ser mi mejor amiga, la amistad une a las personas y las reanima en los tiempos difíciles.

A todos mis compañeros de carrera, por sus muestras de aprecio; no se olvida a aquellas personas que marcaron una diferencia en la rutina.

## INDICE

CAPITULO 1 .....	1
1.1 INTRODUCCIÓN .....	1
1.2 OBJETIVOS .....	6
1.2.1 OBJETIVO GENERAL .....	6
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	6
CAPITULO 2 .....	7
MARCO TEORICO .....	7
2.1 Vida útil de los alimentos .....	7
2.2 Proceso de elaboración del jugo concentrado de naranja .....	12
2.2.1 Materia prima .....	12
2.2.2 Procesamiento para la obtención de jugo concentrado de naranja .....	13
2.3 Vida útil del jugo concentrado de naranja .....	13
2.4 Parámetros de calidad del jugo concentrado de naranja .....	14
2.4.1 Acido Ascórbico .....	14
2.4.2 Diacetilo .....	15
2.4.3 “Orange juice” (OJ) index .....	16
2.4.4 Índice de encafecimiento .....	16
2.4.5 Conteos microbiológicos .....	17
CAPITULO 3 .....	19
MATERIALES Y METODOS .....	19
3.1 Localización del proyecto: .....	19
3.2 Características de la materia prima: .....	19
3.3 Proceso: .....	19
3.3.1 Diagrama del proceso .....	19
3.3.2 Descripción del proceso .....	19
3.4 Procedimiento experimental .....	19
3.5 Análisis de resultados .....	21
3.5.1 Diseño y análisis estadístico .....	21
3.5.2 Determinación de los límites de las variables analizadas .....	22
3.4.3 Gráfico de vida útil .....	22
3.6 Métodos de análisis .....	23
3.6.1 Preparación de la muestra: .....	23
3.6.2 Análisis Químicos .....	23
3.6.2.1 Determinación de ácido ascórbico: .....	23
3.6.2.2 Análisis de diacetilo: .....	23
3.6.3 Análisis Físicos .....	24
3.6.3.1 Determinación del color: .....	24
3.6.3.2 Índice de encafecimiento: .....	25
3.6.4 Análisis Microbiológicos .....	25
3.6.4.1 Recuento de hongos y levaduras: .....	25
3.6.4.2 Recuento total aerobio: .....	25
3.6.4.3 Recuento de bacterias acidúricas: .....	25
3.6.5 Análisis Sensorial .....	26

CAPITULO 4 .....	27
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	27
4.1 Determinación del fin de la vida útil del jugo concentrado de naranja.....	27
4.2 Efecto de la temperatura y del tiempo sobre las variables estudiadas .....	30
4.2.1 Determinación del modelo de variación de los parámetros evaluados.....	31
4.2.2 Contenido de ácido ascórbico.....	32
4.2.3 Contenido de diacetilo .....	35
4.2.4 OJ index .....	37
4.2.5 Índice de encafecimiento.....	39
4.3 Microbiología del jugo concentrado de naranja .....	41
4.4 Determinación de la vida útil del jugo concentrado de naranja .....	41
CAPITULO 5 .....	45
CONCLUSIONES .....	45
CAPITULO 6 .....	46
RECOMENDACIONES.....	46
BIBLIOGRAFIA .....	47
APENDICE .....	52

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Exportaciones de Costa Rica de jugo concentrado de naranja, en millones de dólares, para el período de 1999 hasta junio del 2002.....	2
Figura 2.1 Representación gráfica de una reacción de orden cero.....	8
Figura 2.2 Representación gráfica de una reacción de orden uno.....	9
Figura 2.3 Representación gráfica de la relación de Arrhenius.....	11
Figura 2.4 Pseudo ploteo de Arrhenius.....	11
Figura 2.5 Rección química del ácido ascórbico con el 2,6-diclorindofenol.....	15
Figura 3.1 Diagrama para la elaboración de un jugo concentrado de naranja.....	20
Figura 3.2 Cámaras de refrigeración empleadas para el almacenamiento de las muestras.....	21
Figura 3.3 Determinación del ácido ascórbico con 2,6-diclorindofenol.....	23
Figura 3.4 Equipo de destilación del jugo para la determinación de diacetilo.....	24
Figura 3.5 Muestras del extracto del jugo concentrado de naranja para la determinación del índice de encafecimiento.....	25
Figura 3.6 Presentación del cubículo y las muestras del jugo para las pruebas dúo-trío.....	26
Figura 4.1 Contenido de ácido ascórbico en jugo concentrado de naranja almacenado a 8°C y a 22°C. (Intervalos de confianza al 95%).....	34
Figura 4.2 Contenido de ácido ascórbico en jugo concentrado de naranja almacenado a -20.5°C y a -12°C. (Intervalos de confianza al 95%).....	34
Figura 4.3 Contenido de diacetilo en jugo concentrado de naranja almacenado a 8°C y a 22°C. (Intervalos de confianza al 95%).....	36
Figura 4.4 Contenido de diacetilo en jugo concentrado de naranja almacenado a -20.5°C y a -12°C. (Intervalos de confianza al 95%).....	36
Figura 4.5 OJ index del jugo concentrado de naranja almacenado a 8°C y a 22°C. (Intervalos de confianza al 95%).....	38
Figura 4.6 OJ index del jugo concentrado de naranja almacenado a -20.5°C y a -12°C. (Intervalos de confianza al 95%).....	38

Figura 4.7 Índice de encafecimiento en jugo concentrado de naranja almacenado a 8°C y a 22°C. (Intervalos de confianza al 95%).....	40
Figura 4.8 Índice de encafecimiento en jugo concentrado de naranja almacenado a – 20.5°C y a -12°C. (Intervalos de confianza al 95%) .....	40
Figura 4.9 Gráfico de vida útil del jugo concentrado de naranja según el contenido de diacetilo, ácido ascórbico y del índice de encafecimiento.....	42

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 3.1 Secuencia de muestreo para el análisis del jugo concentrado de naranja durante el período de almacenamiento.....	21
Cuadro 4.1 Prueba dúo-trío para la evaluación del sabor del jugo concentrado de naranja almacenado a 8°C con respecto al control almacenado a -20.5 °C.....	28
Cuadro 4.2 Prueba dúo-trío para la evaluación del color del jugo concentrado de naranja almacenado a 8°C con respecto al control almacenado a -20.5°C.....	29
Cuadro 4.3 Efecto del tiempo y de la temperatura sobre los parámetros químicos analizados durante el almacenamiento del jugo concentrado de naranja.....	30
Cuadro 4.4 Regresión lineal de los parámetros químicos analizados durante el almacenamiento del jugo concentrado de naranja a distintas temperaturas.....	32

## RESUMEN

Se utilizó el método acelerado para predecir la vida útil de un jugo concentrado (66°Brix) de naranja de la variedad *Valencia*, utilizando cuatro temperaturas de almacenamiento: -20.5°C, -12°C, 8°C y 22 °C, por períodos de almacenamiento de 307, 300, 147 y 15 días respectivamente, con cuatro repeticiones. Se midieron los siguientes parámetros: contenido de diacetilo, contenido de ácido ascórbico, índice de encafecimiento, OJ index, recuento de bacterias acidúricas, recuento total aerobio y recuento de hongos y levaduras. Sensorialmente, se realizaron pruebas dúo-trío para tratar de detectar diferencias en el color y sabor del jugo almacenado a 8°C con respecto a la muestra control almacenada a -20.5°C.

No se observó crecimiento microbiológico en el jugo durante el almacenamiento. A los 63 días de almacenamiento se detectó diferencia significativa en el sabor del jugo almacenado a 8°C respecto a la muestra control, con esto se determinó el límite máximo tolerable de diacetilo, el cual corresponde a 0.05 ppm. Se detectó diferencia significativa en el color del jugo almacenado a 8°C respecto a la muestra control, a los 63 días para dos lotes y a los 91 días para los otros dos, determinándose el índice de encafecimiento máximo tolerable con un valor de 0.131. Se observó que la variación del OJ index, índice de encafecimiento, del contenido de diacetilo y de ácido ascórbico siguieron una cinética de orden cero. El contenido de diacetilo mostró una tendencia al aumento a las temperaturas de -12 °C, 8 °C y 22 °C, siendo significativa para la última temperatura. El contenido de ácido ascórbico disminuyó en el almacenamiento. El OJ index y el índice de encafecimiento mostraron tendencia a aumentar en el período de almacenamiento, siendo significativo a todas las temperaturas en el caso del último parámetro.

Se determinó que el contenido de ácido ascórbico es el parámetro que mejor define la vida útil del jugo concentrado de naranja, siendo ésta de 480 días almacenado a -10°C. Se recomienda efectuar un estudio de aceptación para establecer el límite máximo de pardeamiento aceptable.

# **CAPITULO 1**

## **1.1 INTRODUCCIÓN**

El jugo concentrado de naranja es un producto muy importante para la industria alimenticia, pues permite asegurar la provisión de jugo de naranja en cualquier época del año; además, por la naturaleza del producto, se puede almacenar en un volumen considerablemente menor al que ocuparía el jugo natural y el tiempo de conservación es mayor. Dado que el jugo concentrado de naranja se destina para reconstitución posterior, es muy importante asegurar que el jugo a usar posea las características de calidad deseables, por lo tanto, es necesario conocer la vida útil de este producto.

La vida útil se define como aquel período de tiempo que corresponde, bajo circunstancias definidas, a una tolerable disminución de la calidad de un producto procesado (Kooper, 1994). La vida útil está básicamente determinada por: el proceso usado en la manufactura, los métodos de empaque, tiempo, temperatura y humedad relativa durante el transporte y almacenamiento.

Los estudios de almacenamiento para predecir la vida útil son parte esencial de cada desarrollo de producto, mejoramiento, o programa de mantenimiento (Dethmers, 1979). El conocimiento de la vida útil de los alimentos procesados es importante tanto para los consumidores, quienes tendrán la seguridad de adquirir un producto en excelente estado, conocer sobre su manejo y tiempo máximo de utilización, así como para productores, que tienen menores pérdidas ocasionadas por devolución de productos (Kooper, 1994). Además se hace posible garantizar la satisfacción del cliente hacia el producto (Anzueto, 1991).

Según datos de la Promotora de Comercio Exterior de Costa Rica (PROCOMER), la industria alimenticia, que incluye productos tales como azúcar, aceite de palma, purés y pastas de frutas, preparaciones y conservas de pescado, jugos y concentrados de frutas, otras preparaciones alimenticias, alcohol etílico, palmito y otros, para los años 1999 y 2000 exportó \$359.28 millones y \$352.33 millones respectivamente; de estas

exportaciones, el 3.5% y 8.2% corresponden a jugo concentrado de naranja. En la figura 1.1 se muestran los montos de las exportaciones de jugo concentrado de naranja, en millones de dólares. La exportación del jugo concentrado de naranja aumentó en el año 2000 en un 56% y en el año 2001 se mantuvo casi constante; mientras que hasta junio del 2002 el monto exportado alcanza el 71% de lo exportado en el 2001, esto pone en evidencia que la determinación de la vida útil del jugo concentrado de naranja tiene un impacto económico importante.

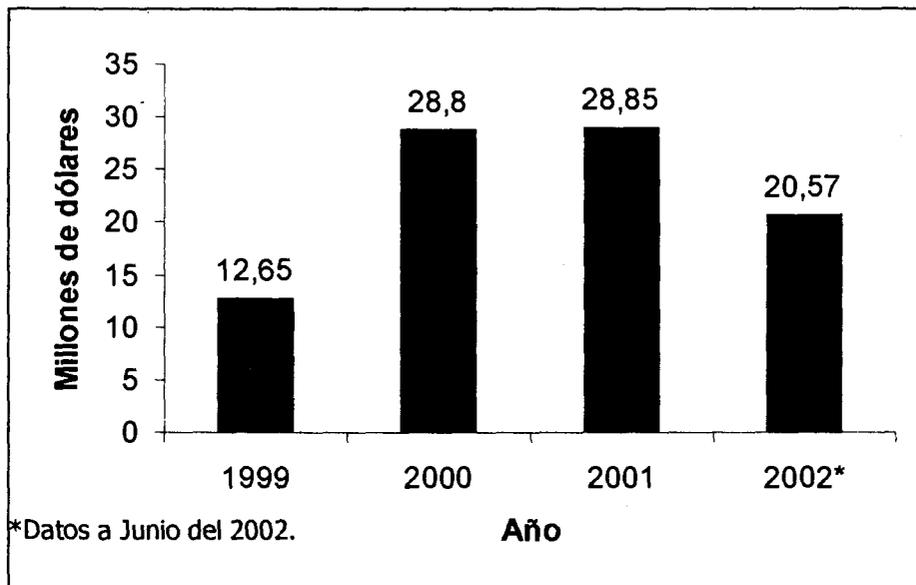


Figura 1.1. Exportaciones de Costa Rica de jugo concentrado de naranja, en millones de dólares, para el período de 1999 hasta junio del 2002.

La realización del presente estudio es relevante, porque el conocimiento de la vida útil contribuye a la industria nacional asegurar la calidad del jugo concentrado de naranja, y con esto se garantiza la satisfacción del cliente y el buen posicionamiento de la empresa costarricense a nivel mundial.

En Estados Unidos el almacenamiento del jugo concentrado de naranja se hace a granel en tanques de 50000 hasta 300000 galones (Hendrix,1986). La comercialización se realiza en tambores de 55 galones o en tanques cisterna. Esto representa un inconveniente para la realización de un estudio de vida útil, pues no es posible, desde el

punto de vista económico, almacenar el producto en el empaque original, lo que implica el inevitable uso de otro tipo de empaque, como botellas o bolsas.

La mayor ventaja que tiene el jugo de naranja sobre otros productos alimenticios es su color, el cual es debido al contenido de carotenoides. La pigmentación de los carotenoides es asociada con el color del sol, esto produce un efecto brillante que complementa el sabor dulce y los aromas del jugo de naranja; por lo tanto, el color es el recurso que más se ha explotado en el mercadeo (Kimball, 1991). Su trascendencia es tanta que la USDA (United States Department of Agriculture) ha establecido la escala OJ Index, exclusiva para el color de jugos y concentrados de naranja, por lo cual, se puede usar como parámetro de vida útil, siendo su medición validada y sencilla de realizar.

Pino *et al.* (1991) evaluaron trece indicadores físicos, químicos y sensoriales en el jugo de naranja natural. Estos investigadores encontraron que los principales parámetros que describen la calidad del jugo son: el contenido de ácido ascórbico, la relación sólidos solubles/acidez y contenido de carotenoides. El jugo de naranja es rico en ácido ascórbico (vitamina C), de hecho es una de las principales fuentes de dicha vitamina (Townsend, 1999).

En un estudio de almacenamiento realizado en la Universidad de Florida durante 12 meses, efectuado con un jugo de naranja *Valencia* concentrado a 66 °Brix, se observó un decrecimiento significativo en el contenido de ácido ascórbico (Marcy, 1984). Por tratarse de una vitamina, el contenido de ácido ascórbico del jugo de naranja debe cumplir con las especificaciones de la norma correspondiente; esto lo convierte en un indicador de calidad importante de evaluar. En este mismo estudio, no se observó cambio significativo en la acidez y en los Brix, por lo tanto, la relación sólidos solubles/acidez no constituiría un indicador de vida útil, aunque es un parámetro de calidad. En el estudio de Kanner *et al.* (1982) se encontró que la degradación del ácido ascórbico sigue una cinética de primer orden a temperaturas menores que 25°C.

Kanner *et al.* (1982) estudiaron la vida útil de un jugo concentrado de naranja (58°Brix) empacado asépticamente a seis temperaturas entre  $-18^{\circ}$  y  $36^{\circ}\text{C}$ . Estos autores usaron la determinación del color, las pérdidas de ácido ascórbico, la formación de furfural (pardeamiento) y la evaluación sensorial para determinar los cambios en el almacenamiento, durante un período de 18 meses. El pardeamiento no enzimático fue significativo a los 200 días de almacenado a  $25^{\circ}\text{C}$ ; éste constituyó el principal fenómeno de deterioro en el producto (Kanner, 1982). El pardeamiento no enzimático está dado por una reacción química que causa pérdida de calidad y valor nutritivo de los alimentos. El mecanismo de pardeamiento puede estar influenciado por diversos factores tales como temperatura, oxígeno, presencia de metales, pH, concentración de azúcar y ácido ascórbico (Kacem *et al.*, 1987). La oxidación del ácido ascórbico, considerada la principal responsable del pardeamiento (Kacem *et al.*, 1987), ocasiona la terminación de la vida útil de algunos jugos concentrados, entre otros productos (Anzueto, 1991), tal y como ocurrió en el estudio de Kanner *et al.* (1982).

Un precursor del pardeamiento en jugos de frutas se produce a partir de reacciones químicas capaces de producir compuestos furánicos, entre los cuales se encuentran el Hidroximetilfurfural (HMF) (Fernández & Díaz, 1983). El HMF puede ser medido directamente o se puede recurrir a la medición del índice de encafecimiento, el cual permite determinar el grado de pardeamiento alcanzado en el jugo (Johnson *et al.*, 1995 ; Askar, 1993). Este índice posee la ventaja de ser más sencillo de medir, comparado con la determinación del HMF.

El análisis sensorial no mostró diferencias significativas en el almacenamiento a  $5^{\circ}\text{C}$  por 17 meses (Kanner *et al.*, 1982) del jugo concentrado de naranja. El análisis sensorial es una herramienta muy importante en la evaluación de alimentos; pruebas como la dúo-trío son útiles para procurar establecer el momento en el cual se da un cambio significativo en el sabor y oscurecimiento del jugo concentrado de naranja.

Respecto a la calidad microbiológica del jugo de naranja, el crecimiento de microorganismos es limitado a bacterias ácido tolerantes, mohos y levaduras, debido a su

acidez. Los géneros de bacterias más comúnmente encontrados en jugos de naranja son *Lactobacillus* y *Leuconostoc*, bacterias productoras de diacetilo y algunas veces de CO<sub>2</sub>. Las levaduras en jugos y concentrados de naranja son el tipo más común de organismo que causa la putrefacción del producto, debido a fermentaciones alcohólicas que conducen a la formación de sabores desagradables en el jugo y a la producción de CO<sub>2</sub>. Otras levaduras pueden causar turbidez y floculación. Debido a que los mohos son aerobios y tienen bajas velocidades de crecimiento, han sido menos asociados con la putrefacción comparados con las bacterias y levaduras (Tetra Pak, 1998). El deterioro microbiológico constituye un parámetro de calidad que se debe medir durante el almacenamiento, pues es en este período cuando se desarrollan los microorganismos, los cuales producen una serie de metabolitos que dan lugar a la disminución de la calidad de los alimentos (Frazier, 1993).

La medición de la calidad microbiológica se puede realizar por medio de recuentos o con la medición del diacetilo. Esta última prueba fue desarrollada para la detección del crecimiento microbiológico en el jugo cítrico concentrado durante su manufactura. Suficiente concentración de diacetilo puede causar un sabor extraño como de mantequilla de leche (Hendrix, 1986), el cual es totalmente indeseable en el jugo de naranja. Es muy valioso efectuar los recuentos microbiológicos y la medición del diacetilo para evaluar la correlación que existe entre ambos parámetros de calidad y establecer cuál de esos índices es mejor indicador de vida útil.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 OBJETIVO GENERAL**

Predecir la vida útil de un jugo concentrado congelado de naranja.

### **1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar el efecto del almacenamiento sobre los siguientes parámetros: contenido de ácido ascórbico, índice de encafecimiento, color del jugo, contenido de diacetilo, análisis sensorial, recuento total y recuento de hongos y levaduras, mediante la utilización del método acelerado a cuatro diferentes temperaturas.
- Determinar el parámetro que mejor define la vida útil del jugo.
- Definir la vida útil del producto basado en el parámetro escogido.

## CAPITULO 2

### MARCO TEORICO

#### 2.1 Vida útil de los alimentos

La vida útil se define como el período de tiempo que corresponde, bajo circunstancias definidas, a una tolerable disminución de la calidad de un producto procesado (Koopers, 1994). La vida útil está básicamente determinada por: el proceso usado en la manufactura, los métodos de empaque, tiempo, temperatura y humedad relativa durante el transporte y almacenamiento. La calidad de un alimento puede reducirse por la pérdida inaceptable de nutrientes, cambios indeseables en el color, sabor y textura del producto (Labuza & Schmidl, 1985). Estos cambios se dan debido a mecanismos químicos, físicos y a alteraciones microbiológicas (Koopers, 1994).

La pérdida de la calidad de un alimento puede ser representada por la siguiente expresión matemática:

$$dA/d\theta = kA^n \quad (1)$$

donde:

A= factor de calidad medido

$\theta$  =tiempo

k= una constante que depende de la temperatura y la actividad de agua

n= orden de reacción, su valor puede ser desde cero hasta 2 y valores fraccionales.

$dA/d\theta$ = razón de cambio de A con respecto al tiempo. Se usa signo negativo (-) si el deterioro es por pérdida de A, y uno positivo (+) si es por formación de un producto final indeseable (Labuza, 1982).

Reacción de orden cero (n=0) o de pérdida constante:

La reacción de orden cero implica que la relación de pérdida es constante a temperatura y actividad de agua constante, como se muestra en la siguiente ecuación (Labuza, 1982):

$$-dA/d\theta = k \quad (2)$$

Por integración se tiene:

$$\int_{A_0}^{A_s} dA = \int_0^{\theta} -k d\theta \quad (3)$$

Entonces,

$$A = A_0 - k\theta \quad (4)$$

O,

$$A_e = A_0 - k \theta_s \quad (5)$$

Donde,

$A_0$  = valor inicial de A

A = cantidad después del tiempo  $\theta$

$A_e$  = valor de A al final de la vida útil

$\theta_s$  = vida útil en días, meses, años, etc.

Si se grafica la calidad de A contra el tiempo, la pendiente de la recta corresponde al valor de k (ver figura 2.1).

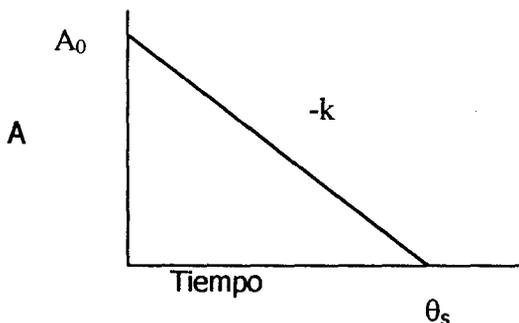


Figura 2.1. Representación gráfica de una reacción de orden cero.

Técnicamente, el mayor problema en los estudios de vida útil es verificar que  $n=0$ , y que las ecuaciones 4 y 5 son aplicables. Algunas reacciones que generalmente siguen una cinética de orden cero son: (1) la degradación enzimática en frutas y vegetales frescos, alimentos congelados y pastas refrigeradas; (2) pardeamiento no enzimático en cereales secos, productos lácteos secos, alimentos secos para animales; (3) oxidación lipídica en snacks, en alimentos secos y congelados (Labuza, 1982).

### Reacción de orden uno ( $n=1$ ) o de pérdida variable

La vida útil en muchos casos no sigue una relación constante de degradación. Muchos alimentos que no se deterioran por una reacción de orden cero siguen un modelo donde el valor de  $n$  es igual a uno ( $n=1$ ), esto resulta en un decrecimiento exponencial en la relación de pérdida de calidad. Matemáticamente, para  $n=1$  (Labuza, 1982):

$$-dA/d\theta = k (A)^1 \quad (6)$$

Por integración se tiene,

$$\int_{A_0}^{A_s} dA/A = \int_0^{\theta_s} -k d\theta \quad (7)$$

$$\ln A_s - \ln A_0 = -k \theta_s$$

$$\ln A_s = \ln A_0 - k \theta_s$$

o bien :

$$\ln A_s = \ln A_0 + k \theta_s \quad (8)$$

En la figura 2.2 se muestra gráficamente una reacción de orden uno.

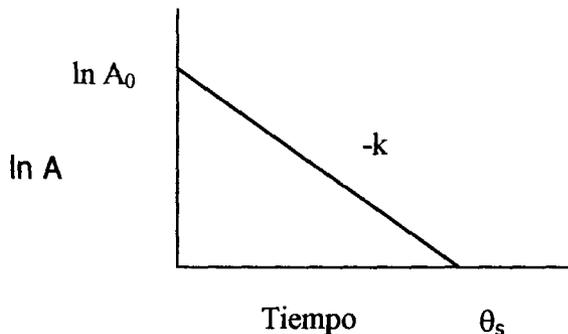


Figura 2.2. Representación gráfica de una reacción de orden uno.

Las reacciones que generalmente siguen un comportamiento de orden 1 son (Kooper, 1994):

- 1- Rancidez (aceites para ensalada, vegetales secos).
- 2- Crecimiento microbiológico en carnes frescas y muerte microbiana por tratamientos térmicos.
- 3- Producción microbiana de "off flavors" (sabores extraños) y limo en carnes.
- 4- Pérdida de vitaminas en alimentos secos y enlatados.
- 5- Pérdida de calidad proteica en alimentos secos.

### Reacciones de otros ordenes ( $n \neq 0$ , $n \neq 1$ )

Existen muy pocos datos que describan la degradación de alimentos por otros órdenes diferentes a orden cero y a primer orden. Se ha descrito que la degradación de la vitamina C en alimentos líquidos como el jugo de tomate o las fórmulas infantiles siguen una reacción de segundo orden. En este caso la reacción es dependiente tanto del ascorbato como del oxígeno, a medida que el oxígeno se agota la relación de pérdida del ascorbato comienza a seguir un modelo de reacción de primer orden (Labuza, 1982).

### Fracción dependiente de la temperatura

Los análisis matemáticos de pérdida de calidad se asumen a temperatura constante. La fracción dependiente de la temperatura en las reacciones de orden 0, 1 y 2 es la constante  $k$ , la cual obedece a la relación de Arrhenius (Labuza, 1982):

$$K = K_0 e^{E_a/RT} \quad (9)$$

Donde:

$K$  = constante de reacción

$K_0$  = constante de reacción absoluta

$E_a$  = energía de activación (Kcal/mol)

$R$  = constante de los gases ideales (1.986 cal/mol K)

$T$  = temperatura en grados Kelvin

Aplicando ln en ambos lados de la ecuación se obtiene:

$$\ln K = \ln K_0 - Ea/RT \quad (10)$$

La representación gráfica de la relación de Arrhenius se muestra en la figura 2.3.

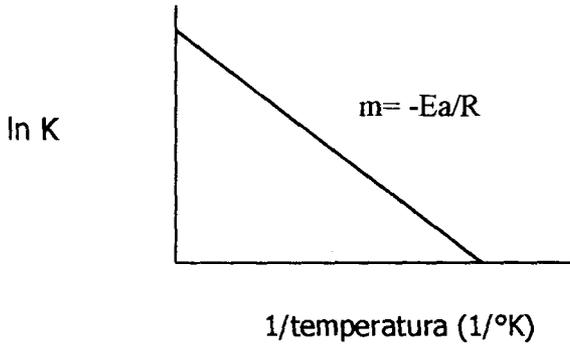


Figura 2.3. Representación gráfica de la relación de Arrhenius.

Cuando se efectúan determinaciones de "datos de punto final" (como el caso de la vida útil,  $\theta_s$ ), un modelo matemático semejante al descrito permite obtener el " gráfico de vida útil o pseudo ploteo de Arrhenius" (figura 2.4) (Labuza, 1982):

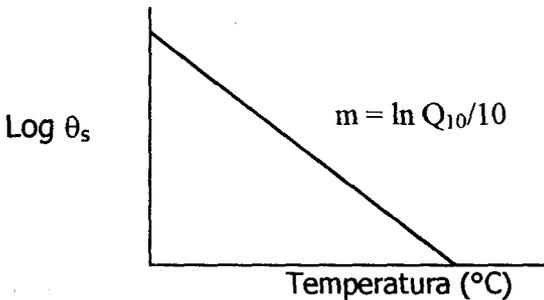


Figura 2.4. Pseudo ploteo de Arrhenius.

Donde  $Q_{10}$  es la medida de la sensibilidad de una reacción (o un alimento) a la temperatura.

Este gráfico relaciona el logaritmo de la vida útil y la temperatura. Del mismo modo pueden obtenerse (Kooper, 1994):

- 1- Valores de vida útil para un amplio rango de temperaturas.
- 2- El valor de  $Q_{10}$  para la reacción característica en estudio.
- 3- Constantes de reacción y energía de activación.
- 4- Datos de vida útil para un rango de valores de  $A_w$ .

El valor de  $Q_{10}$  es calculado:

$$Q_{10} = \frac{\theta_s \text{ a } T \text{ } ^\circ\text{C}}{\theta_s \text{ a } (T+10 \text{ } ^\circ\text{C})}$$

$$Q_{10} = \frac{\text{vida útil a } T \text{ } (^\circ\text{C})}{\text{vida útil a } (T + 10 \text{ } ^\circ\text{C})} \quad (11)$$

En caso de no tener un diferencial de  $10^\circ\text{C}$  entre los datos, se puede corregir mediante la ecuación:

$$Q_{10} \Delta T/10 = \frac{Q_s (t_1)}{Q_s (T_2)} \quad (12)$$

## 2.2 Proceso de elaboración del jugo concentrado de naranja

### 2.2.1 Materia prima

Los cítricos pertenecen a la clase *Angiospermae*, a la subclase dicotiledónea, a la orden *Rutae*, a la familia *Rutaceae* y al género *Citrus*, y dentro de ellos se conocen las siguientes especies: naranja (*Citrus sinensis*), mandarina (*Citrus reticulata*), limón (*Citrus aurantifolia*), toronja (*Citrus paradisi*) y tangüelo (*Citrus paradisi*\**Citrus reticulata*). La naranja es la fruta más común del género *Citrus sp*, y la más conocida en el ámbito, mundial (Corporación Colombia Internacional, 2000).

Existe una amplia gama de variedades de naranja que se cultivan con el propósito de comercializarlas, ya sea como producto fresco o como productos ya procesados, los

cuales tienen un mayor valor agregado. Por ejemplo, la variedad *Navel* es usualmente comercializada en fresco y se cultiva poco; la fruta tiene más bajos contenidos de ácido que otras variedades, además debido a su contenido de limonina, que imparte un sabor amargo en el jugo, ésta no se usa para el procesamiento (Tucker *et al.*, 1993).

De la variedad *Pinneapple* se obtiene jugo de buen sabor que no necesita ser mezclado para estandarizarlo y es de excelente calidad, sin embargo, esta variedad no se cultiva en grandes cantidades en Florida, debido a que tiene menor resistencia al frío (Tucker *et al.*, 1993). Actualmente, en nuestro país, se está incentivando el cultivo de esta variedad.

La variedad *Valencia* tiene un amplio ámbito de adaptabilidad climática, su jugo es excelente (dulce, sabroso y abundante), se cultiva para comercialización en fresco y para procesamiento, es la principal variedad que se cultiva y procesa en Florida, uno de los estados de mayor producción a nivel mundial (Tucker *et al.*, 1993; Sunkist Growers, 2000). A nivel nacional, es la variedad que se procesa en mayor cantidad, por lo que se plantea realizar el presente estudio usando un jugo de naranja *Valencia*.

### 2.2.2 Procesamiento para la obtención de jugo concentrado de naranja

El jugo concentrado de naranja se obtiene de la concentración por evaporación del jugo de naranjas. Es un producto con muchas ventajas, pues comparado con el jugo fresco ocupa menor volumen de almacenamiento, es muy fácil de reconstituir, por almacenarse a temperaturas de congelación al reconstituirlo se obtiene el jugo frío y además tiene una vida útil muy prolongada, esto asegura su existencia en cualquier época del año.

## **2.3 Vida útil del jugo concentrado de naranja**

Labuza (1985) recomienda temperaturas de  $-40$ ,  $-15$ ,  $-10$  y  $-5^{\circ}\text{C}$  para el estudio de vida útil de alimentos congelados, mientras que Kooper (1994) cita el uso de

temperaturas de -20, -2, 0, 4, 8, 10, y 15°C para alimentos refrigerados. Dado el alto contenido de sólidos, este jugo no sufre cambio de fase en el rango de temperatura de -22°C hasta 36 °C (Bolaños, 2000), lo que permite el uso de temperaturas sobre congelación en el estudio de vida útil del producto. Por ejemplo, en el estudio de Kanner *et al.* (1982) se usaron temperaturas de almacenamiento para el jugo concentrado de naranja de -18, 5, 12, 17, 25 y 36 °C; mientras que Marcy *et al.* (1984) emplearon temperaturas de -17.7, -12.2, -6, y 4.4 °C. Por otro lado, Navarro *et al.* (1981) usaron temperaturas de 0°C, -8°C y -18°C para el estudio de almacenamiento de un jugo concentrado (60 °Brix) de naranja de la variedad Valencia.

## **2.4 Parámetros de calidad del jugo concentrado de naranja**

### 2.4.1 Acido Ascórbico

El ácido ascórbico, vitamina C, es una de las vitaminas más importantes encontradas en los jugos de frutas cítricas. En algunas investigaciones se ha encontrado que en jugos preparados a partir de jugo concentrado de naranja se presentan niveles mayores de vitamina C, comparados con jugos frescos o jugos pasteurizados. Esto se debe probablemente a que los factores que degradan la vitamina C en los jugos frescos tienen menor efecto sobre el jugo concentrado, pues los concentrados se mantienen congelados hasta su reconstitución (Townsend, 1999).

El ácido ascórbico en el jugo concentrado de naranja se determina por medio de una valoración con 2,6-dicloroindofenol en medio ácido. El 2,6-dicloroindofenol provoca la oxidación del ácido ascórbico a ácido dehidroascórbico, obteniéndose un punto final color rosado claro (ver figura 2.5) (Matissek *et al.*, 1998), el cual puede cuantificarse visualmente.

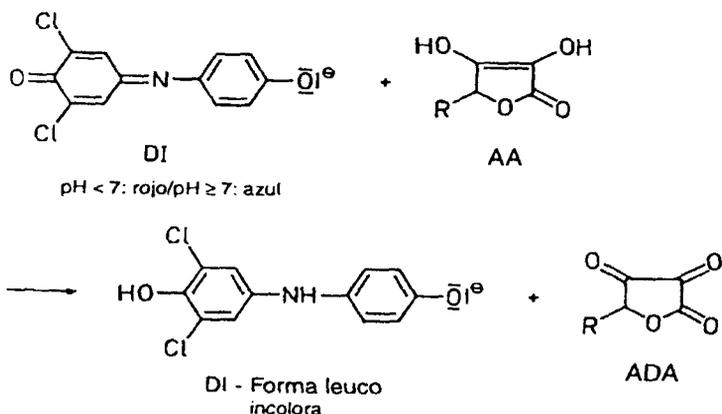


Figura 2.5 Reacción química del ácido ascórbico con el 2,6-dicloroindofenol.

#### 2.4.2 Diacetilo

El diacetilo es un metabolito producido por bacterias ácido tolerantes. El diacetilo en concentraciones mayores que 1 ppm imparte un sabor a mantequilla en el jugo de frutas cítricas (Askar, 1993), característica totalmente indeseable en el jugo. Los géneros de bacterias principalmente responsables de la formación de diacetilo son *Lactobacillus* y *Leuconostoc*. Estas bacterias se encuentran en la fruta proveniente de los campos y para evitar la proliferación durante el procesamiento del jugo concentrado se debe mantener un programa eficiente de sanitización (Murdock, 1968).

La determinación de diacetilo en jugo de naranja se desarrolló como un indicador de crecimiento microbiológico en el jugo (Kimball, 1991). El diacetilo reacciona con el grupo guanidínico de la creatina para dar un compuesto coloreado que se determina por espectrofotometría en la región visible (Garro & Hernández, 1974).

Para el jugo concentrado de naranja se establece que el máximo de diacetilo aceptado es 0.06 ppm (Hendrix, 1986).

### 2.4.3 "Orange juice" (OJ) index

Desde el punto de vista mercadotécnico, el color del jugo de naranja es una de las mayores ventajas, pues su efecto brillante complementa las características de olor y sabor del jugo (Kimball, 1991).

El desarrollo de colorímetros específicos para jugo de naranja y la escala de color actualmente utilizada por la industria cítrica es el resultado de extensos estudios (Berry, 1985).

El colorímetro es un dispositivo destinado a comparar las luminancias y/o los colores. Está constituido esencialmente por dos superficies de proyección dispuestas según un determinado ángulo, sobre los cuales se proyectan los elementos a comparar (Anónimo, 2002).

Un tipo de colorímetro son los colorímetros triestímulo, estos utilizan una disposición  $0/45^\circ$  en las superficies observador-iluminación, y un tubo reflector para la iluminación. Para las mediciones, el equipo se calibra con una pieza blanca estándar (Buslig *et al.*, 1985). El colorímetro cuenta con un software que expresa el resultado de la medición en la escala OJ index. Este parámetro fue desarrollado por la USDA, para ser usado con este tipo de colorímetro. De acuerdo con Hendrix (1986) el OJ index para el jugo de naranja debe ser mayor o igual a 35.5.

### 2.4.4 Índice de encafecimiento

El pardeamiento de jugos cítricos ha sido relacionado con la degradación del ácido ascórbico, la cual es parcialmente responsable del desarrollo de colores extraños en el jugo (Kimball, 1991). El pardeamiento no enzimático es considerado una de las principales causas de pérdida de calidad de los productos de frutas. Los compuestos coloreados que resultan del pardeamiento no enzimático son solubles en agua, por lo que la medida de la

absorbancia a 440 nm del extracto de una muestra de jugo es tomada como una medida del pardeamiento no enzimático (Askar,1993)

#### 2.4.5. Conteos microbiológicos

Cada microorganismo tiene un pH óptimo, un pH mínimo y un pH máximo de crecimiento. A las células microbianas les afecta de manera importante el pH de los alimentos, ya que, al parecer, carecen de un mecanismo que regule su pH interno. Los alimentos cuyo pH es bajo (valores inferiores a 4,5) no son alterados fácilmente por bacterias, siendo más sensibles a la alteración por levaduras y mohos (Frazier, 1993). En el jugo de naranja los microorganismos predominantes son las bacterias ácido tolerantes y los mohos y levaduras. De las bacterias acidúricas se podría encontrar *Lactobacillus* y *Leuconostoc*, las cuales producen diacetilo y algunas veces CO<sub>2</sub>, sin embargo, son sensibles al calor y a la presión osmótica y no se ha observado crecimiento sobre los 45°Brix (Tetra Pak, 1998).

En el jugo de naranja las levaduras más comunes son las que provocan fermentaciones alcohólicas. *Zigosaccharomyces* es una levadura osmofílica que sobrevive a la alta presión osmótica y baja actividad de agua del jugo concentrado de naranja, esta levadura es la más frecuentemente relacionada con la putrefacción del jugo concentrado de naranja. Los mohos que crecen en el jugo de naranja son generalmente sensibles al tratamiento térmico, comparado con levaduras y bacterias, los mohos son bajamente asociados con la putrefacción del jugo de naranja (Tetra Pak, 1998).

El jugo concentrado de naranja no aséptico, ni estéril comercialmente, contiene abundante microflora de amplia diversidad incluyendo hongos, levaduras y bacterias, sin embargo, el jugo concentrado de naranja no tiene problemas microbiológicos significativos debido a que se almacena a baja temperatura (Tetra Pak, 1998).

Microbiológicamente para el jugo concentrado de naranja se establecen los siguientes límites (Hendrix, 1986): 2000 UFC/ml en recuento de acidúricas, 300 UFC/ml en mohos y 300 UFC/ml en levaduras.

## **CAPITULO 3**

### **MATERIALES Y METODOS**

#### **3.1 Localización del proyecto:**

El estudio se realizó en una planta nacional productora de jugos de frutas.

#### **3.2 Características de la materia prima:**

Se utilizaron naranjas (*Citrus sinensis*) de la variedad *Valencia*.

#### **3.3 Proceso:**

##### 3.3.1 Diagrama del proceso

El diagrama de flujo del proceso de jugo concentrado de naranja se muestra en la figura 3.1.

##### 3.3.2 Descripción del proceso

Las naranjas una vez lavadas y seleccionadas se exprimen, obteniéndose un jugo con una relación Brix/acidez de 16.5-18.0. El jugo se filtra para luego pasteurizarlo. El jugo pasteurizado se evapora en evaporadores al vacío hasta 66 °Brix.

El proceso para la obtención del jugo concentrado de naranja empleado en este estudio se realizó a escala industrial.

#### **3.4 Procedimiento experimental**

Se utilizó jugo concentrado de naranja proveniente de cuatro lotes producidos el mismo día. Para el caso de los análisis químicos y físicos, las muestras de jugo se envasaron en botellas de vidrio translúcidas desinfectadas; las muestras para microbiología se empacaron en bolsas estériles.

El producto empacado se almacenó a cuatro temperaturas:  $-20.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  (control),  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $8\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; en la figura 3.2 se muestran las cámaras empleadas. Las muestras se analizaron química, física y microbiológicamente el día en que se tomaron y a intervalos de tiempo definidos para cada temperatura de la manera en que se indica en el Cuadro 3.1. Además, mensualmente, durante tres meses, se realizó la evaluación sensorial (prueba dúo-trío) a las muestras almacenadas a  $8.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  con respecto al control, esto para tratar de encontrar diferencias en el sabor y color del jugo concentrado de naranja. A los 30 días participaron 24 panelistas y a los 63 y 91 días participaron 18 panelistas.

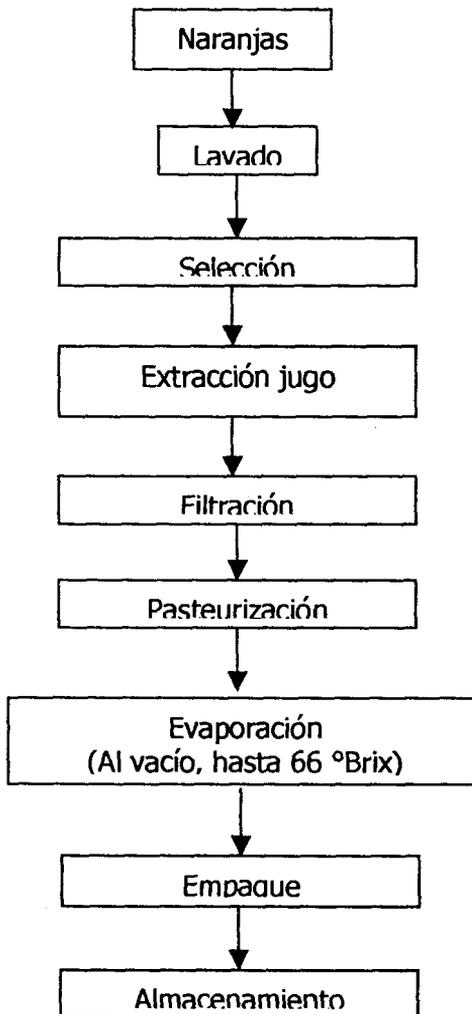


Figura 3.1. Diagrama para la elaboración de un jugo concentrado de naranja

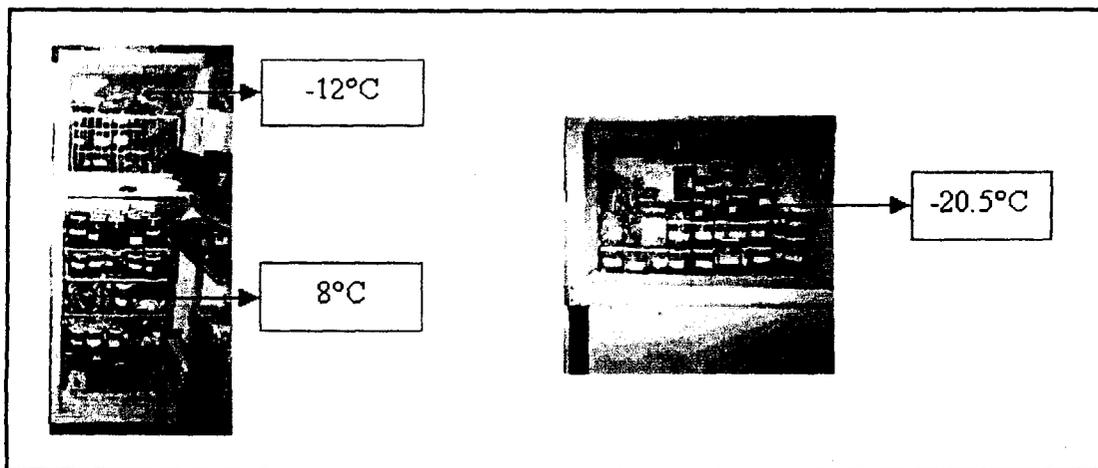


Figura 3.2. Cámaras de refrigeración empleadas para el almacenamiento de las muestras.

Cuadro 3.1. Secuencia de muestreo para el análisis del jugo concentrado de naranja durante el período de almacenamiento.

Temp. Almacenamiento (°C)	Tiempo máximo de almacenamiento	Frecuencia de medición
-20.5	10 meses	0,63,119,183,245,307 días
-12	10 meses	0,63,120,182,252,300 días
8	5 meses	0,30,63,91,116,147 días
22	15 días	0,3,6,9,12,15 días

### 3.5 Análisis de resultados

#### 3.5.1 Diseño y análisis estadístico

Para evaluar la vida útil del jugo concentrado de naranja se utilizó un diseño irrestricto aleatorio con 4 tratamientos (cuatro temperaturas, a saber: -20.5°C, -12°C, 8°C y 22°C). Los resultados se evaluaron por medio de un análisis de covarianza. Se utilizó el tiempo como covariable para analizar tendencias. Además se evaluó la interacción entre la temperatura y el tiempo.

### 3.5.2 Determinación de los límites de las variables analizadas

El valor máximo aceptable del índice de encafecimiento, se definió con el valor promedio de las repeticiones en la fecha anterior a la detección de diferencia significativa en el color del jugo por parte del panel sensorial.

El valor máximo aceptable de contenido de diacetilo se definió considerando lo recomendado por la literatura y a partir del valor promedio de las repeticiones en la fecha anterior a la que se detectó diferencia significativa en el sabor del jugo almacenado a 8°C, con respecto a la muestra control.

Para el contenido de ácido ascórbico se usó el valor mínimo aceptado. Para el OJ index y los conteos microbiológicos se consideraron los valores recomendados por la bibliografía.

### 3.4.3 Gráfico de vida útil

Para cada variable respuesta y temperatura se construyeron gráficas de los parámetros en función del tiempo en escala lineal y logarítmica. Se definió cuál de estas tenía una mejor relación con el tiempo con el fin de determinar el orden de la reacción. Este análisis se realizó mediante regresiones lineales, comparando los coeficientes de correlación de las rectas de mejor ajuste.

En el caso del contenido de diacetilo y para el índice de encafecimiento, no se encontró diferencia significativa entre lotes, por lo que haciendo uso de la ecuación de regresión lineal, se estimó la vida útil para cada temperatura según los valores extremos definidos en el análisis sensorial. Utilizando el valor mínimo aceptado de ácido ascórbico (40 mg/100 ml), para cada repetición y para cada temperatura se estimó el tiempo de vida útil del jugo concentrado de naranja.

Se construyó el gráfico de vida útil (logaritmo de la vida útil contra la temperatura de almacenamiento) de los tres parámetros (ácido ascórbico, diacetilo, índice de encafecimiento) con el fin de predecir, mediante regresión e interpolación, la vida útil del producto a  $-10^{\circ}\text{C}$ , que es la temperatura real de almacenamiento del producto.

### **3.6 Métodos de análisis**

#### 3.6.1 Preparación de la muestra

Todos los análisis se realizaron con jugo concentrado de naranja reconstituido hasta 11.8 °Brix a  $20^{\circ}\text{C}$ .

#### 3.6.2 Análisis Químicos

##### *3.6.2.1 Determinación de ácido ascórbico*

Se determinó la concentración de ácido ascórbico por valoración directa, siguiendo el procedimiento descrito por Kimball (1999), el cual se detalla a continuación: una alícuota del jugo diluido a 11.8°Brix se valora con 2,6-dicloro indofenol de concentración conocida, en medio ácido, hasta la aparición de un color rosado (figura 3.3).



Figura 3.3. Determinación de ácido ascórbico con 2,6-dicloroindofenol.

### *3.6.2.2 Análisis de diacetilo*

El contenido de diacetil se determinó por medio de espectroscopia de absorción, según el procedimiento descrito por Hendrix (1986). Se destila (figura 3.4) una muestra del jugo reconstituido a 11.8 °Brix, recolectando 75 ml del destilado en tres porciones de 25 ml cada una, desechándose la segunda porción, se toman alícuotas de las otras porciones, a las cuales se le adiciona una disolución de naftol al 5% y otra disolución de creatina en medio básico; después de 10 min de reposo se procede a medir la absorbancia a 530 nm; la absorbancia de la tercer porción corresponde a la corrección por acetilmetilcabinol. A partir de la curva de calibración se calcula el contenido de diacetilo en el jugo.



Figura 3.4. Equipo de destilación del jugo para la determinación de diacetilo.

### 3.6.3 Análisis Físicos

#### *3.6.3.1 Determinación del color*

Se utilizó un colorímetro, la muestra del jugo concentrado de naranja diluido a 11.8 °Brix, se llevó a una temperatura de 26°C y se colocó en un tubo de ensayo para realizar la medición por triplicado del OJ index, finalmente se obtuvo el promedio de las lecturas.

### 3.6.3.2 Índice de encafecimiento

Se siguió el procedimiento descrito por Askar & Treptw (1993): una muestra de jugo diluido a 11.8 °Brix, se centrifugó a 2000 rpm, se tomó una alícuota del sobrenadante y se diluyó con etanol, en una proporción 50/50, se centrifugó y el sobrenadante se filtró, al filtrado (figura 3.5) se le midió la absorbancia a 440 nm usando etanol acuoso al 60% como blanco.

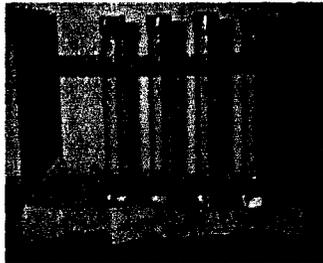


Figura 3.5. Muestras del extracto del jugo concentrado de naranja para la determinación del índice de encafecimiento.

### 3.6.4 Análisis Microbiológicos

#### *3.6.4.1 Recuento de hongos y levaduras*

El recuento de hongos y levaduras se realizó en agar papa, incubando durante 72 horas a 30 °C, según el procedimiento descrito por Hendrix (1986).

#### *3.6.4.2 Recuento total aerobio*

El recuento total aerobio se realizó en agar estándar incubando a 30°C durante 48 horas, según el procedimiento descrito por Hendrix (1986).

#### *3.6.4.3 Recuento de bacterias acidúricas*

El recuento de bacterias acidúricas se realizó en agar suero de naranja incubando durante 48 horas a 30°C.

### 3.6.5 Análisis Sensorial

A las muestras almacenadas a 8°C se le realizaron pruebas dúo-trío para detectar diferencias en el color y sabor del jugo, respecto a la muestra control almacenada a -20.5°C.

A los 30 días de almacenamiento participaron 25 panelistas en la prueba dúo-trío para el color y 24 panelistas para la prueba de sabor. A los 63 y 91 días participaron 18 jueces en ambas pruebas.

Se empleó la metodología descrita por Cubero (2000): en un cubículo individual (figura 3.6), a cada panelista se le presentaron cuatro juegos de muestras, un juego de cada lote, cada juego constaba de tres muestras: se usaban dos muestras iguales (almacenadas a igual temperatura) y otra muestra diferente. Una muestra se identificaba como estándar y las otras dos tenían otra identificación, cada panelista debía señalar cuál muestra era igual a la estándar. Con los datos obtenidos se registraron las respuestas correctas, y haciendo uso de la tabla de Roessler *et al.* (1978), se determinó el valor  $p$ ; el grado de significancia se determinó haciendo uso de la tabla de Roessler *et al.* (1978) (ver apéndice H).

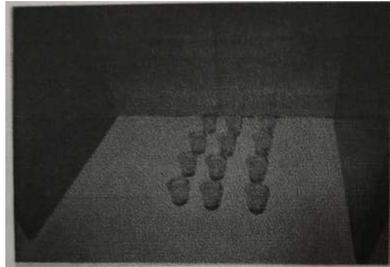


Figura 3.6. Presentación del cubículo y las muestras del jugo para las pruebas dúo-trío.

## CAPITULO 4

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Determinación del fin de la vida útil del jugo concentrado de naranja

Dentro de los parámetros de calidad establecidos por la USDA (2002) para el jugo concentrado de naranja se encuentran el color y el sabor, estos son aspectos muy importantes para el aseguramiento de calidad del producto, pues constituyen variables muy importantes para el consumidor.

Se realizó una prueba dúo-trío para evaluar el momento en el cual se detecta diferencia significativa en el color y sabor del jugo concentrado de naranja almacenado a 8°C, los resultados se muestran en los cuadros 4.1 y 4.2.

De acuerdo con los resultados obtenidos, a los 63 días (2.1 meses) de almacenamiento los jueces detectaron diferencia en el sabor del jugo concentrado de naranja de los cuatro lotes almacenados a 8°C, esto con un grado de confianza del 99.5% para los lotes 1,2 y 3; en el caso del lote cuatro el nivel de confianza es del 99.9%. Marcy *et al.* (1984) encontraron diferencia significativa ( $p < 0.01$ ) en el sabor de un jugo concentrado de naranja (66°Brix) a los 5 meses de almacenamiento a 4.4°C, relativamente es un comportamiento muy similar al observado en este estudio. Navarro *et al.* (1981) analizaron durante seis meses la calidad sensorial de un jugo concentrado de naranja de 60° Brix envasado en vidrio con atmósfera de nitrógeno, ellos observaron que la pérdida de la calidad sensorial es más rápida a temperatura de refrigeración (0-2°C), mientras que no observaron diferencia entre los jugos almacenados a las temperaturas de -8°C y -18°C.

En el día anterior al que se percibió el cambio (día 30) el contenido de diacetilo promedio del jugo concentrado de naranja almacenado a 8°C fue de 0.05 ppm, ligeramente menor al valor máximo recomendado por la literatura (0.06 ppm), sin

embargo, este valor es detectable, por lo que se tomó 0.05 ppm como el límite para el contenido de diacetilo en el jugo concentrado de naranja en análisis.

Cuadro 4.1. Prueba dúo trío para la evaluación del sabor del jugo concentrado de naranja almacenado a 8°C con respecto al control almacenado a -20.5 °C.

Tiempo almacenamiento	Lote	Aciertos	P*	Proporción**
30 días***	1	14	0.271	0.583
30 días***	2	11	0.729	0.458
30 días***	3	13	0.419	0.542
30 días***	4	13	0.419	0.542
63 días	1	15	0.004	0.83
63 días	2	15	0.004	0.83
63 días	3	15	0.004	0.83
63 días	4	16	0.001	0.89
91 días	1	16	0.001	0.889
91 días	2	12	0.119	0.667
91 días	3	15	0.004	0.833
91 días	4	16	0.001	0.889

Notas:\* El valor p se obtiene de la tabla de probabilidad de Roessler *et al.*,1978.

\*\* Proporción aciertos / jueces.

\*\*\* 30 días n= 24; 63 y 91 días n=18.

Según el cuadro 4.2, en los lotes 2 y 3 se detectó diferencia en el color del jugo concentrado de naranja a los 63 días de almacenamiento, mientras que en los lotes 1 y 4 se detectó diferencia a los 91 días de almacenamiento. Para el lote 1 el grado de confianza es del 98%, para los lotes 2 y 4 es 99.9% y para el lote 3 fue de 99.5 %.

Se determinó el valor promedio del índice de encafecimiento, correspondiente al momento antes en que los panelistas detectaran diferencia entre la muestra almacenada a 8°C y la muestra control, este valor corresponde a 0.131. Este valor es menor al límite de 0.195 que establecen Meydaw *et al.* (1977) para los jugos considerados pardeados. En el

estudio de almacenamiento de Navarro *et al.* (1981), el jugo concentrado (60 °Brix) alcanzó un índice de encafecimiento de 0.090 a los seis meses de almacenamiento para las tres temperaturas empleadas en el estudio (0-2°C, -8°C, -18°C). Dicho valor es inferior al determinado en este estudio. Sin embargo, en el período de almacenamiento empleado por Navarro *et al.* (1981) se observó una disminución en la aceptación del jugo pero, no se alcanzó el límite de rechazo del mismo.

El contenido promedio de ácido ascórbico a los 63 días de almacenamiento a 8°C, momento en que se detectó un cambio significativo en el sabor del jugo, fue de 40.3 mg/100 ml; este valor coincide con el valor mínimo aceptado para dicha vitamina.

Cuadro 4.2. Prueba dúo-trío con n=18 para la evaluación del color del jugo concentrado de naranja almacenado a 8°C con respecto al control almacenado a -20.5°C

Tiempo almacenamiento	Lote	Aciertos	P	Proporción
30 días <sup>***</sup>	1	12	0.655	0.500
30 días <sup>***</sup>	2	17	0.054	0.708
30 días <sup>***</sup>	3	15	0.212	0.625
30 días <sup>***</sup>	4	17	0.054	0.708
63 días	1	9	0.593	0.500
63 días	2	17	0.001	0.944
63 días	3	10	0.407	0.556
63 días	4	9	0.593	0.500
91 días	1	14	0.015	0.778
91 días	2	9	0.593	0.5
91 días	3	9	0.593	0.5
91 días	4	16	0.001	0.889

Notas:\* El valor p se obtiene de la tabla de probabilidad de Roessler *et al.*,1978.

\*\* Proporción aciertos / jueces.

\*\*\* 30 días n=25; 63 y 91 días n=18.

El OJ index presentó una tendencia al aumento, este parámetro también se podría correlacionar con el cambio de color detectado por los panelistas, sin embargo, al no tener

un valor límite máximo para este parámetro no es útil para la determinación de la vida útil. Se realizó un análisis de covarianza del OJ index contra el índice de encafecimiento (apéndice H), se encontró que no existe una correlación significativa ( $p>0.05$ ) entre el OJ index y el índice de encafecimiento.

#### 4.2 Efecto de la temperatura y del tiempo sobre las variables estudiadas

En el cuadro 4.3 se presenta el ANDEVA de las variables analizadas, en donde se muestra que existe interacción tiempo-temperatura sobre las variables ácido ascórbico, diacetilo y OJ index, por lo que la variación en el tiempo de estos parámetros depende de la temperatura. Para el caso del encafecimiento ningún efecto fue significativo. En el análisis no se detectó diferencia significativa ( $p>0.05$ ) entre lotes, para los casos del contenido de diacetilo y del índice de encafecimiento, mientras que para el OJ index y el contenido de ácido ascórbico sí se encontró diferencia entre lotes.

Cuadro 4.3: Efecto del tiempo y de la temperatura sobre los parámetros químicos analizados durante el almacenamiento del jugo concentrado de naranja.

Parámetro	Efectos	Grados libertad	Valor F	Prob>F
<b>Ácido Ascórbico</b>	Temperatura	3	17.0797	<0.0001*
	Día	1	14.1813	0.0003*
	Temperatura*Día	3	8.0688	<0.0001*
	Lote	3	27.0801	<0.0001*
<b>Diacetilo</b>	Temperatura	3	7.8405	0.0001*
	Día	1	16.4907	0.0001*
	Temperatura*Día	3	5.8208	0.0011*
	Lote	3	0.9926	0.4004
<b>OJ index</b>	Temperatura	3	3.8930	0.0116*
	Día	1	12.3856	0.0007*
	Temperatura*Día	3	4.2219	0.0077*
	Lote	3	2.7743	0.0463*
<b>Encafecimiento</b>	Temperatura	3	1.0856	0.3595
	Día	1	3.4536	0.0665
	Temperatura*Día	3	0.6131	0.6083
	Lote	3	0.5621	0.6415

Efecto significativo ( $p<0.05$ )

#### 4.2.1 Determinación del modelo de variación de los parámetros evaluados

Para cada una de las variables estudiadas se hicieron las regresiones lineales y logarítmicas; dado que los coeficientes de correlación lineales fueron significativamente mayores ( $p < 0.05$ ) para todas las variables, se emplearon regresiones lineales para el análisis de los resultados. Dado que la correlación es lineal las reacciones son de orden cero. En el caso del índice de encafecimiento, coincide con los resultados reportados por Saguy *et al.* (1978), quienes encontraron que el pardeamiento no enzimático en jugo de grapefruit seguía una reacción de orden cero.

Kanner *et al.* (1982), encontraron que la degradación del ácido ascórbico sigue una reacción de primer orden a temperaturas inferiores a 25°C. Labuza (1973) señala que una reacción química en un alimento puede ser muy compleja, pero para el deterioro de los alimentos en general, se puede asumir una reacción de primer orden. En algunos casos, las pérdidas nutricionales siguen una reacción de orden cero. Esto ocurre si la pérdida del componente es tan pequeña en el período de tiempo en estudio que el valor de la concentración de ese componente no cambia significativamente. Daniels y Alberty (1961), mencionan que la velocidad de reacción puede ser descrita al dar el valor numérico de la constante de velocidad de reacción o algunas veces con la vida media ( $t_{1/2}$ ), que es el tiempo necesario para que la mitad de la sustancia inicialmente presente reaccione. Para una reacción de primer orden la mitad de la sustancia desaparece cada vida media, de modo que queda el 25% después de dos vidas medias y el 12,5% después de tres. Esto permite deducir que si un componente disminuye en un porcentaje muy pequeño, como es el caso del ácido ascórbico en este estudio, prácticamente su descomposición va a seguir una cinética de orden 0. Por otro lado, es hasta pasar la primera vida media que se va a ser muy notorio que el deterioro del componente sigue una reacción de orden 1, y este estudio se llevó a cabo por un lapso mucho más pequeño que la vida media de la vitamina C a las diferentes temperaturas evaluadas.

El cuadro 4.4 muestra la regresiones de todos los parámetros. Las figuras de la 4.1 hasta la 4.8 muestran los datos del contenido de ácido ascórbico, diacetilo, índice de

encafecimiento y OJ index, durante el tiempo de almacenamiento a cada una de las temperaturas empleadas en el estudio.

Cuadro 4.4. Regresión lineal de los parámetros químicos analizados durante el almacenamiento del jugo concentrado de naranja a distintas temperaturas.

Parámetro	Temperatura	Pendiente	Intercepto	R <sup>2</sup>	Valor F	Valor P
Acido Ascórbico	22°C	-0.150238	43.9476	0.3484	11.76113	0.00240*
	8°C	-0.0264258	43.4189	0.4990	17.92546	0.00050*
	-12°C	-3.89573x10 <sup>-3</sup>	43.4121	0.1014	2.483293	0.12933
	-20.5°C	-4.15305x10 <sup>-3</sup>	43.4931	0.1373	3.501030	0.07469
Diacetilo	22°C	4.18095x10 <sup>-3</sup>	0.0414762	0.5158	23.43406	0.00008*
	8°C	1.46444x10 <sup>-4</sup>	0.0374232	0.0420	0.965473	0.33650
	-12°C	3.3821x10 <sup>-5</sup>	0.031331	0.0257	0.580066	0.45437
	-20.5°C	-2.2979x10 <sup>-5</sup>	0.037012	0.0119	0.264062	0.61247
OJ index	22°C	0.0711571	36.7117	0.1478	3.814730	0.06364
	8°C	5.4212x10 <sup>-3</sup>	37.1655	0.3247	10.58017	0.00365*
	-12°C	9.68127x10 <sup>-4</sup>	37.7067	0.0919	2.227328	0.14979
	-20.5°C	1.7614x10 <sup>-3</sup>	37.8477	0.1990	5.466052	0.02889*
Indice Encafecimiento	22°C	1.0619x10 <sup>-3</sup>	0.125869	0.3721	13.03600	0.00155*
	8°C	1.0982x10 <sup>-4</sup>	0.12611	0.3408	11.37628	0.00274*
	-12°C	1.85309x10 <sup>-4</sup>	0.112012	0.3514	11.92159	0.00227*
	-20.5°C	1.7703x10 <sup>-4</sup>	0.112318	0.3120	9.975335	0.00456*

\* Efecto significativo (p<0.05)

#### 4.2.2 Contenido de ácido ascórbico

Según el cuadro 4.4 a las temperaturas de 22°C y de 8°C la variación en el contenido de ácido ascórbico en el jugo concentrado de naranja es significativa en el tiempo (p<0.05). En la figura 4.1 se muestra el comportamiento de la concentración de ácido ascórbico en el jugo concentrado de naranja, con su respectivo intervalo de

confianza, en función del tiempo. Como se puede observar, el contenido de ácido ascórbico disminuye en el almacenamiento, la pérdida fue mayor a la temperatura de 22°C, esto coincide con Townsend (1999), quien señala que la pérdida de ácido ascórbico es más drástica a altas temperaturas. Belitz & Grosch (1985), señalan que los factores de mayor influencia en la degradación del ácido ascórbico son: la presión parcial de oxígeno, el pH, la temperatura y los iones de metales pesados, especialmente el  $\text{Cu}^{+2}$  y el  $\text{Fe}^{+3}$ . La pérdida fue mayor a 22 °C porque el ácido ascórbico es muy sensible a la oxidación cuando se expone a altas temperaturas (MatisseK *et al.*, 1998). En el presente estudio el contenido de ácido ascórbico en promedio, disminuyó en 2.2 mg/100 ml (5%) y en 3.9 mg/100ml durante los 15 días a 22°C y los 147 días a 8°C (4.9 meses) de almacenamiento, respectivamente.

A las temperaturas de -12°C y -20.5°C no hay tendencia significativa en la variación del ácido ascórbico (cuadro 4.4), pues los datos prácticamente no variaron en el tiempo. En promedio la disminución del contenido de ácido ascórbico fue de 0.9 mg/100 ml durante los 300 días (10 meses) de almacenamiento a -12°C, y de 1.2 mg/100 ml durante los 307 días (10.2 meses) de almacenamiento a -20.5 °C. Marcy *et al.* (1984) encontraron un decrecimiento significativo en el contenido de ácido ascórbico en un jugo concentrado (66°Brix) de naranja de la variedad Valencia almacenado a -17.7°C, -12.2°C, -6.6°C, -1.1°C y 4.4°C durante 12 meses. En el estudio mencionado, a 4.4°C el contenido de ácido ascórbico disminuyó en 7 mg/ 100 ml, mientras que a -12.2°C observaron una pérdida de 3.5 mg/100 ml; muy superior a lo obtenido en este estudio. Kanner *et al.* (1982) determinaron un 40% de destrucción luego de 200 días de almacenamiento a 25 °C en un jugo concentrado de naranja 58 °Brix, también mucho mayor a lo observado en este estudio a la temperatura de 22 °C.

En la figura 4.2 se observa como el comportamiento es muy similar a las temperaturas de congelación, Navarro *et al.* (1981) observaron este mismo comportamiento en el jugo concentrado de naranja (60 °Brix), almacenado durante seis meses a -8 °C y -18 °C, pues el contenido de ácido ascórbico encontrado fue de 44.1

mg/100 ml y de 44.3 mg/100 ml respectivamente, equivalente a una pérdida del 1.12 % a  $-8^{\circ}\text{C}$  y 0.67 % a  $-18^{\circ}\text{C}$ .

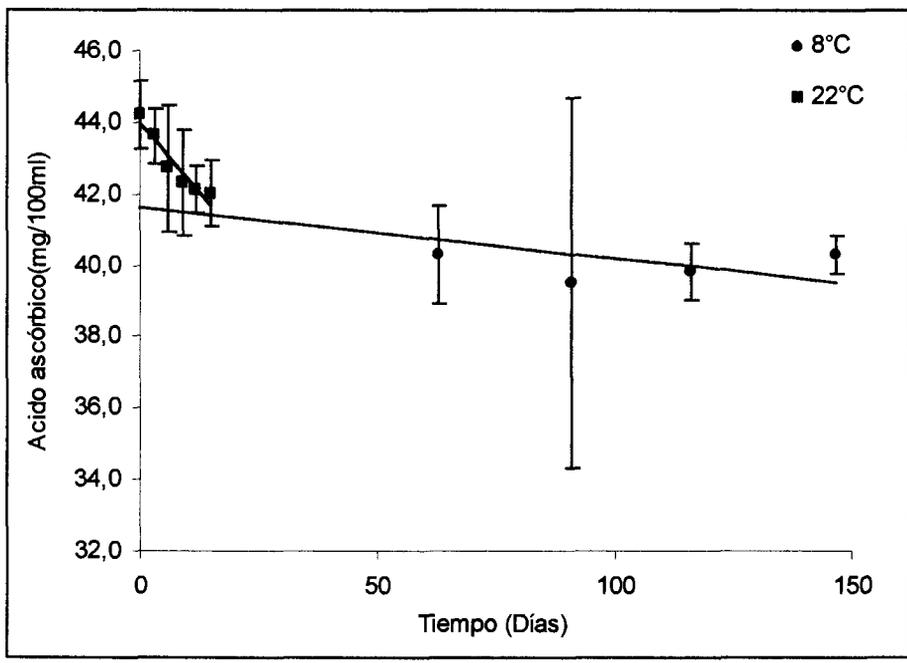


Figura 4.1. Contenido de ácido ascórbico en jugo concentrado de naranja almacenado a  $8^{\circ}\text{C}$  y a  $22^{\circ}\text{C}$ . (Intervalos de confianza al 95%)

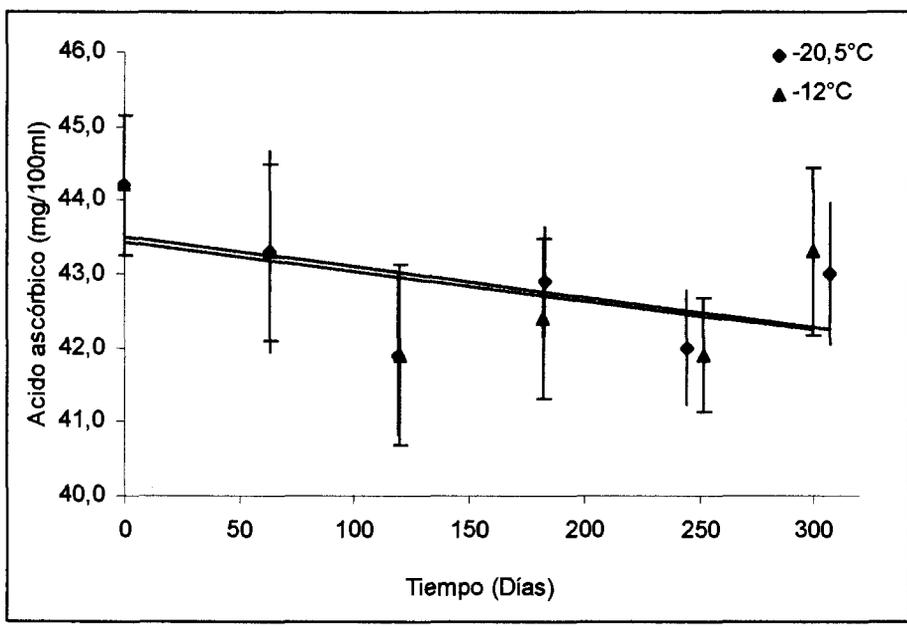


Figura 4.2. Contenido de ácido ascórbico en jugo concentrado de naranja almacenado a  $-20.5^{\circ}\text{C}$  y  $-12^{\circ}\text{C}$ . (Intervalos de confianza al 95%)

### 4.2.3 Contenido de diacetilo

A 22°C la variación en el contenido de diacetilo en el jugo concentrado de naranja es significativa en el tiempo ( $p < 0.05$ ); el contenido de diacetilo es un indicador de acción microbiana (Garro & Hernández, 1974), por lo que el aumento significativo en el contenido de diacetilo, concuerda con lo ocurrido microbiológicamente, pues en dos de los lotes estudiados se presentó un aumento en el recuento de bacterias acidúricas a los 15 días de almacenamiento a 22°C (ver apéndice cuadro E21). Por el contrario, a las temperaturas de 8°C, -12°C y -20.5°C no hay tendencia significativa en la variación del contenido de diacetilo, pues los datos prácticamente no cambiaron en el tiempo (cuadro 4.4), y a estas temperaturas no se observó ninguna variación en los recuentos microbiológicos practicados a las muestras.

En las figuras 4.3 y 4.4 se muestra el contenido de diacetilo en el jugo concentrado de naranja, con su respectivo intervalo de confianza en función del tiempo. Como se puede observar, el contenido de diacetilo aumenta con el tiempo a todas las temperaturas con excepción de -20.5 °C, por lo que para la determinación de vida útil se emplearon solo las temperaturas de 22°C, 8°C y -12°C. Hart & Fisher (1971) mencionan que el contenido de diacetilo en jugo de manzana envasado en vidrio se mantenía prácticamente constante, durante 219 días de almacenamiento a temperaturas de hasta 21.6°C y que tampoco descendía sustancialmente durante este período de tiempo; al cabo de 228 días las pérdidas de diacetilo eran del 20% incluso a 32.7 °C, comportamiento contrario con el observado en este estudio, pues a las temperaturas sobre congelación el diacetilo aumentó en vez de disminuir.

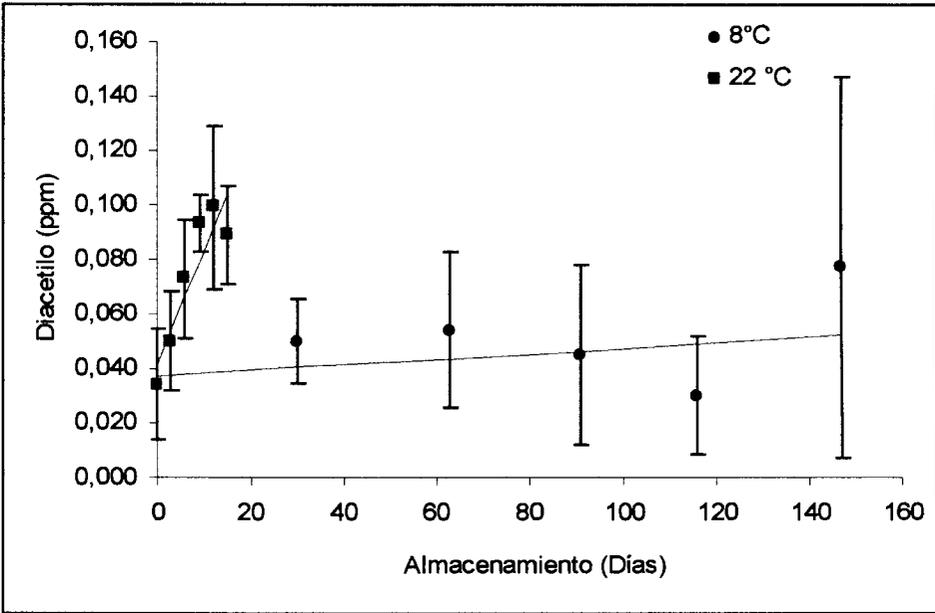


Figura 4.3. Contenido de diacetilo en jugo concentrado de naranja almacenado a 8°C y a 22°C. (Intervalos de confianza al 95%)

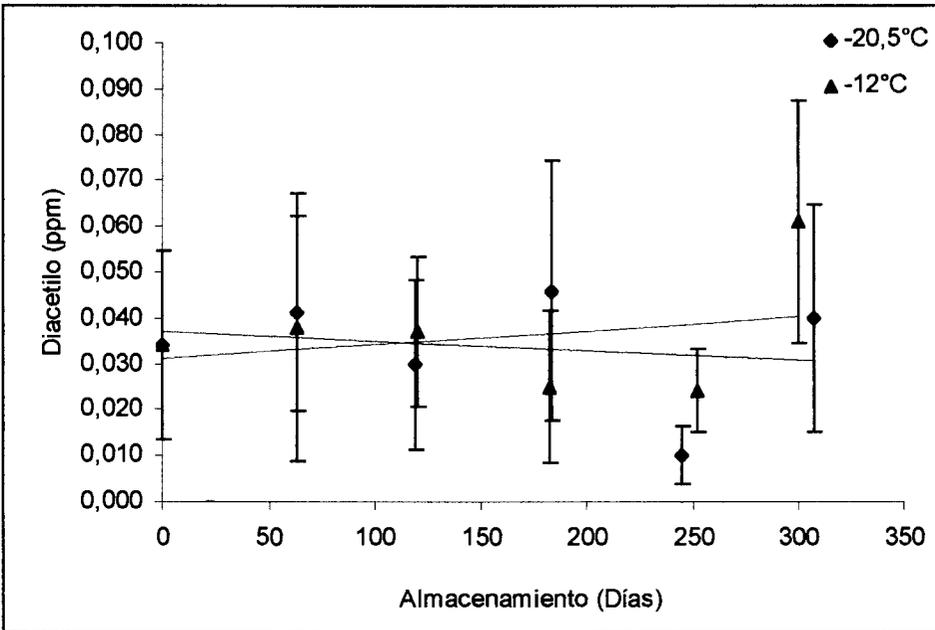


Figura 4.4 Contenido de diacetilo en jugo concentrado de naranja almacenado a -20.5°C y -12°C. (Intervalos de confianza al 95%)

#### 4.2.4 OJ index

El OJ index mostró tendencia significativa al aumento a las temperaturas de 8°C y -20.5°C , mientras que a las temperaturas de 22°C y -12°C no hay tendencia significativa en la variación del OJ index, pues los datos prácticamente no variaron con el tiempo (cuadro 4.4). Un aumento en el OJ index implica que el jugo es más amarillo, una característica deseable en el jugo, todo jugo que tenga un OJ index inferior a 35.5 no se considera aceptable en cuanto al color.

Las figuras 4.5 y 4.6 muestran el OJ index del jugo concentrado de naranja en función del tiempo. El OJ index aumenta con el tiempo, lo que coincide con Marcy *et al.* (1984), quienes encontraron un leve cambio de color en jugo concentrado de naranja de 66°Brix almacenado a -6.6°C, -1.1°C y 4.4°C por un período de 12 meses. Kanner *et al.* (1982) observaron que el color de un jugo concentrado de naranja de 58°Brix empacado asépticamente es estable a 5°C y 12°C durante 18 y 12 meses, mientras que a temperaturas mayores a 17°C el cambio de color ocurre más rápido; esto se observa también en la figura 4.5 donde el incremento de color es más pronunciado a 22°C que a 8°C. La especificación para el jugo concentrado de naranja establece que el OJ index debe ser 35.5 o mayor (Hendrix, 1986), por lo que no se puede tomar como parámetro para la determinación de la vida útil, pues el OJ index aumenta durante el almacenamiento a todas las temperaturas y nunca se alcanzaría un valor inaceptable. A pesar de esto, el cambio de color es detectado por los panelistas y podría llegar a ser inaceptable desde el punto de vista sensorial, aunque el color del producto cumpla con la especificación del OJ index. Por lo que sería recomendable realizar un estudio de aceptación para definir el OJ index máximo aceptable.

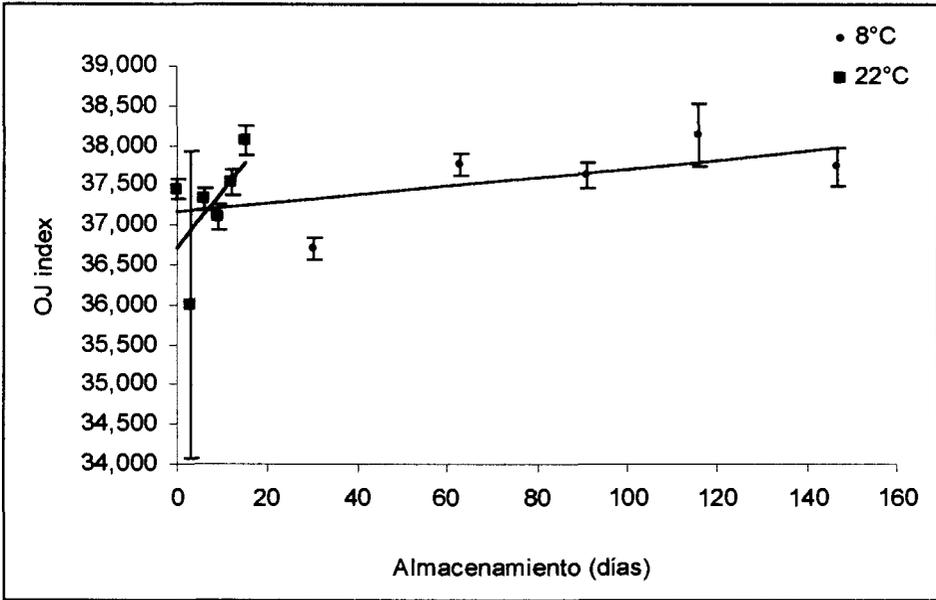


Figura 4.5 OJ index del jugo concentrado de naranja almacenado a 8°C y a 22°C. (Intervalos de confianza al 95%)

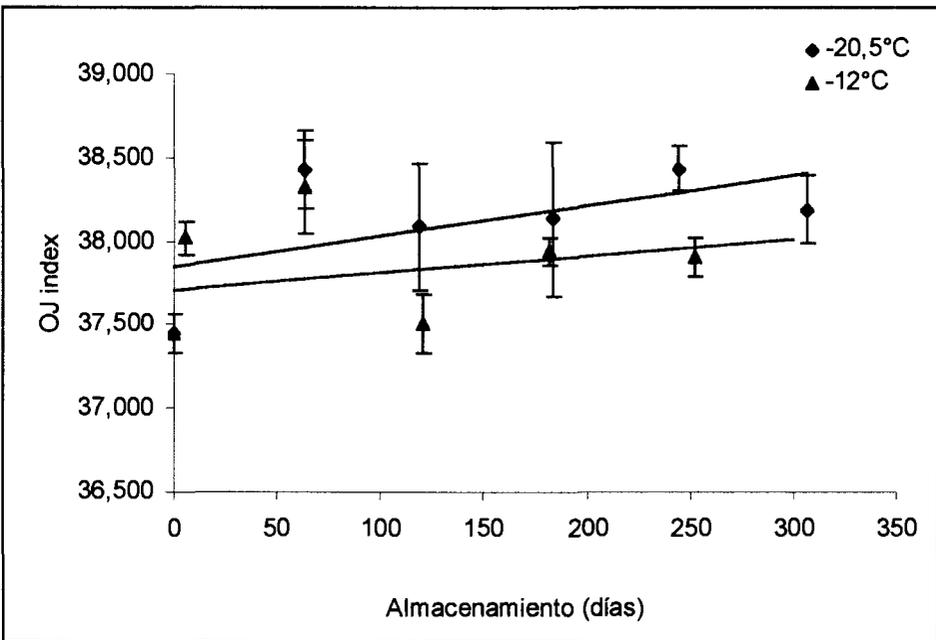


Figura 4.6 OJ index del jugo concentrado de naranja almacenado a -20.5°C y -12°C. (Intervalos de confianza al 95%)

#### 4.2.5 Índice de encafecimiento

En el cuadro 4.4 se observa que para el caso del índice de encafecimiento hay tendencia significativa ( $p < 0.05$ ) a aumentar durante el tiempo de almacenamiento para las cuatro temperaturas (  $22^{\circ}\text{C}$ ,  $8^{\circ}\text{C}$ ,  $-12^{\circ}\text{C}$  y  $-20.5^{\circ}\text{C}$ ). El aumento del índice de encafecimiento es un indicador de que el jugo experimenta pardeamiento no enzimático (Askar,1993).

En las figuras 4.7 y 4.8 se muestra el comportamiento del índice de encafecimiento en el jugo concentrado de naranja. En la figura 4.7 se observa un incremento mayor del índice de encafecimiento a  $22^{\circ}\text{C}$ , lo que implica que a mayor temperatura mayor la velocidad de incremento del índice de encafecimiento, comportamiento similar al observado con los otros parámetros. En la figura 4.8 se observa como los valores del índice de encafecimiento a  $-12^{\circ}\text{C}$  y a  $-20.5^{\circ}\text{C}$  son muy similares, tanto que las rectas de mejor ajuste se sobreponen, esto implica que el pardeamiento no enzimático del jugo concentrado de naranja a estas temperaturas tiene similar velocidad de reacción, este fenómeno se debe a que a estas temperaturas el ácido ascórbico se degradó a una velocidad similar (figura 4.2) y, siendo la oxidación del ácido ascórbico la principal responsable del pardeamiento (Kimball,1991), el índice de encafecimiento reflejó dicha situación.

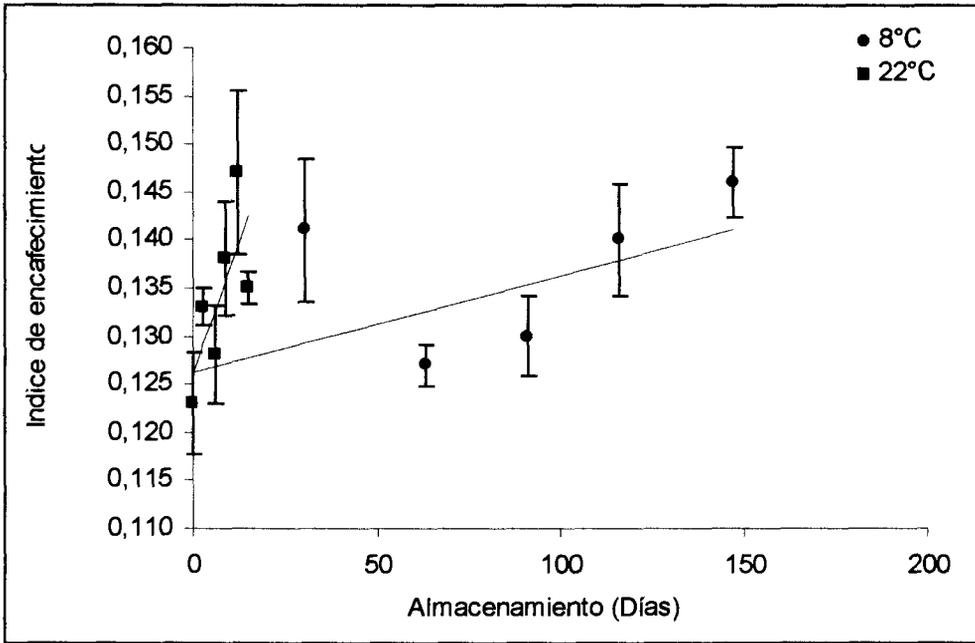


Figura 4.7 Índice de encafecimento em jugo concentrado de laranja armazenado a 8°C y a 22°C. (Intervalos de confianza al 95%)

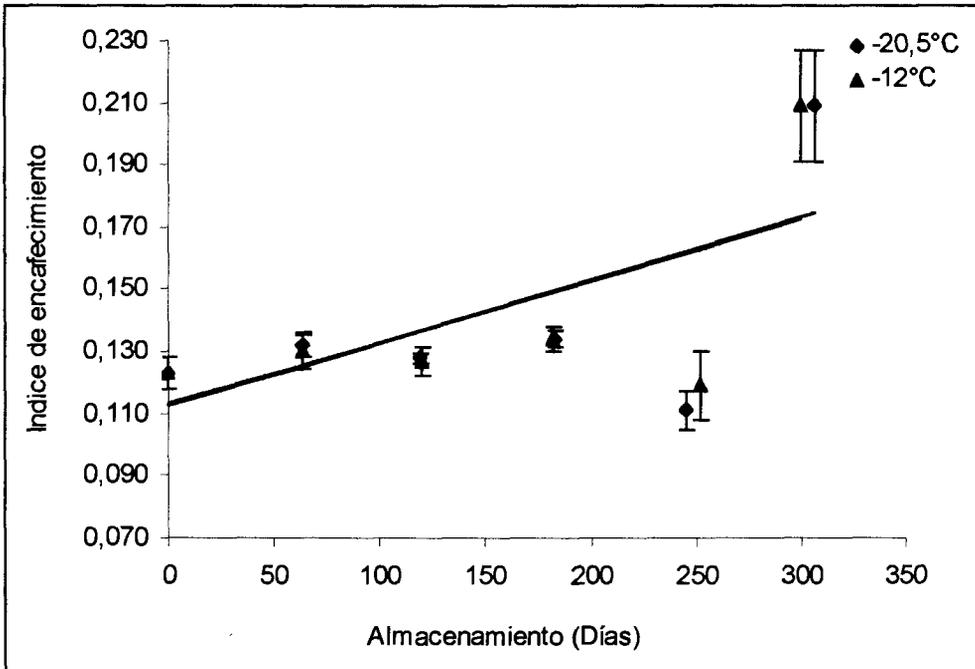


Figura 4.8 Índice de encafecimento em jugo concentrado de laranja armazenado a -20,5°C y a -12°C. (Intervalos de confianza al 95%)

### **4.3 Microbiología del jugo concentrado de naranja**

Microbiológicamente el jugo concentrado de naranja presentó alta estabilidad, los conteos microbiológicos generalmente resultaron menores a 10 UFC/ml (ver apéndice E), debido principalmente a que el jugo concentrado de naranja es un producto de alta acidez pues su pH es de 3.77. Los alimentos cuyo pH es inferior a 4.5 no se ven alterados fácilmente por bacterias, siendo más sensibles a alteración por mohos y levaduras (Frazier,1993). El alto contenido de sólidos (66°Brix), provoca una reducción de la actividad de agua ( $A_w$ ) del producto, lo que también limita el crecimiento microbiológico (Frazier,1993). Además en el estudio se empleó una temperatura de refrigeración (8°C) y dos temperaturas de congelación (-12°C y -20.5°C), lo que adiciona un factor más a la estabilidad del producto, pues que las bajas temperaturas se emplean para retardar las reacciones químicas y la actividad de las enzimas así como para retardar o detener la multiplicación y actividad de los microorganismos existentes en los alimentos (Frazier, 1993). La combinación de los factores pH, temperatura y  $A_w$  fueron determinantes para la alta estabilidad microbiológica del concentrado de naranja. Por lo cual, el aspecto microbiológico no se considera un factor determinante sobre la vida útil del jugo concentrado de naranja.

### **4.4 Determinación de la vida útil del jugo concentrado de naranja**

Dado que con el OJ index no se tiene un valor límite y que los conteos microbiológicos no mostraron cambio durante el almacenamiento, la estimación de la vida útil del producto se realizó con el contenido de diacetilo, ácido ascórbico e índice de encafecimiento.

Para cada lote y para cada temperatura, en la ecuación de la recta del gráfico de contenido de ácido ascórbico contra el tiempo, se interpoló el valor mínimo aceptado de contenido de ácido ascórbico (40mg/100ml) del jugo concentrado de naranja, para obtener la vida útil. Con el estimado de vida útil para cada temperatura se calculó el promedio de los cuatro lotes y se construyó el gráfico de vida útil.

En el caso del contenido de diacetilo y del índice de encafecimiento, para obtener la vida útil se interpolaron los valores límites tolerables a partir de la regresión lineal del parámetro versus tiempo de los 4 lotes, dado que no se encontró diferencia significativa entre lotes. Para determinar la vida útil a partir del contenido de diacetilo, se determinó la concentración promedio del compuesto en los 4 lotes (0.05 ppm), a los 30 días de almacenamiento, que fue el momento anterior en el cual los panelistas detectaron diferencia en el sabor del jugo concentrado de naranja. El índice de encafecimiento empleado para el cálculo de la vida útil, se determinó promediando los valores de este parámetro a los 30 días para el caso de los lotes 2 y 3, y a los 63 días para los lotes 2 y 4; esto porque se detectaron diferencias en el color a los 63 y 91 días respectivamente. El valor promedio fue de 0.131. Con la vida útil a las cuatro temperaturas se construyó el gráfico de vida útil.

La figura 4.9 muestra el gráfico de vida útil de los tres parámetros. El ácido ascórbico presenta un mejor coeficiente de determinación, que el contenido de diacetilo y que el índice de encafecimiento, siendo muy altas las correlaciones en el caso del ácido ascórbico y del diacetilo.

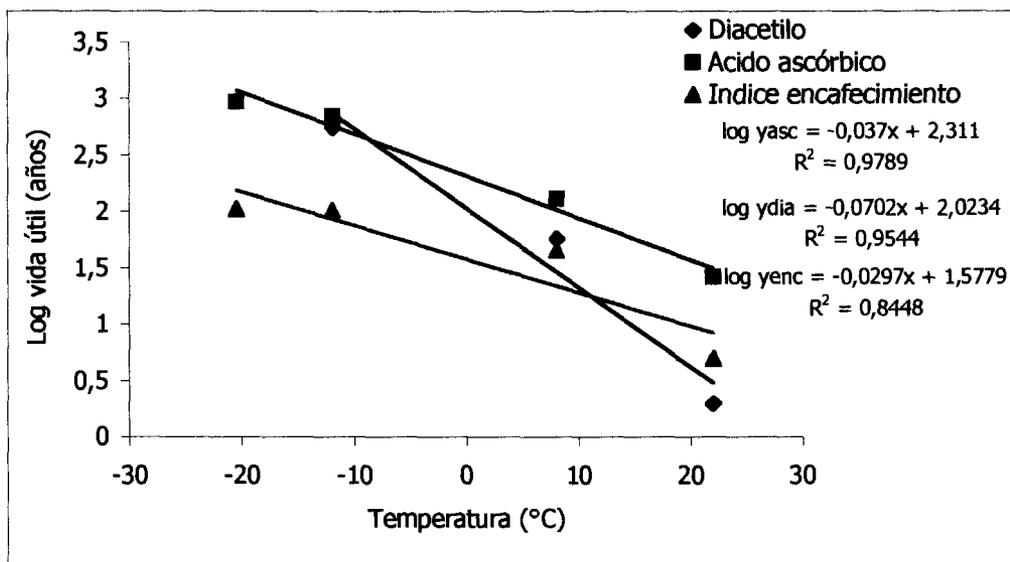


Figura 4.9. Gráfico de vida útil del jugo concentrado de naranja según el contenido de diacetilo, ácido ascórbico y del índice de encafecimiento.

Para los tres parámetros se obtuvo la vida útil del jugo concentrado de naranja por interpolación a  $-10^{\circ}\text{C}$  que es la temperatura real de almacenamiento del producto. La vida útil es de 531 días (17.7 meses) para el contenido de diacetilo, 480 días (16 meses) para el contenido de ácido ascórbico y de 75 días para el índice de encafecimiento. La vida útil determinada a partir del índice de encafecimiento es muy inferior a la determinada con los otros parámetros; sin embargo, este no es un parámetro usado habitualmente como índice de calidad y además presenta un coeficiente de determinación menor a las otras variables analizadas. Si bien es cierto se percibió un cambio de color, debido a oxidación del jugo, esto no causó un aumento importante en el OJ index, por lo cual este parámetro no es decisivo para la determinación de la vida útil; por lo que sería recomendable realizar un estudio de aceptación, en el cual se establezca el índice de encafecimiento máximo aceptable, así como su relación con el OJ index.

Respecto al contenido de ácido ascórbico, Marcy *et al.* (1984) encontraron que la pérdida de esta vitamina fue significativa a los 12 meses de almacenamiento a  $-12.2^{\circ}\text{C}$ , en un jugo concentrado de naranja de 66 °Brix, comportamiento muy similar al observado en este estudio. Para jugos concentrados de frutas, se han reportado vidas útiles desde 4 semanas hasta 20 meses a  $-15^{\circ}\text{C}$  de almacenamiento (Labuza, 1982).

La pérdida de ácido ascórbico se emplea como índice para la determinación de la vida útil de los alimentos (Giese, 2000). Dado que el ácido ascórbico es la vitamina más importante encontrada en el jugo de naranja (Townsend, 1999), que para el contenido de ácido ascórbico se tiene mejor coeficiente de determinación (figura 4.9), y que la vida útil calculada a partir de este parámetro es menor a la estimada con el contenido de diacetilo, dando esto un mayor margen de seguridad; se concluye que la vida útil del jugo concentrado de naranja es de 480 días almacenado a  $-10^{\circ}\text{C}$ . Además se estimó que el valor del índice de encafecimiento a los 480 días de almacenamiento a  $-10^{\circ}\text{C}$  es de 0.219, dicho valor es mayor al 0.195 citado por Meydaw *et al.* (1977) como límite para considerar un jugo pardeado, por lo tanto, en este período de almacenamiento la pérdida de calidad del jugo sería evidente.

Es importante resaltar que a temperatura mayor que  $-9^{\circ}\text{C}$ , el gráfico de vida útil para el contenido de diacetilo (figura 4.9) es inferior al gráfico de ácido ascórbico, por lo tanto, para un jugo concentrado de naranja que se almacene a temperatura mayor que  $-9^{\circ}\text{C}$  debe emplearse el contenido de diacetilo para hacer la estimación de vida útil.

## **CAPITULO 5**

### **CONCLUSIONES**

Se detectaron diferencias significativas en el sabor y color del jugo concentrado de naranja almacenado a 8°C durante 63 días. Con esto se determinaron los límites máximos tolerables de diacetilo (0.05 ppm) y del índice de encafecimiento (0.131).

Los parámetros analizados (ácido ascórbico, diacetilo, OJ index e índice de encafecimiento) mostraron cinéticas de orden cero.

El índice de encafecimiento expresado como la absorbancia a 440 nm presentó tendencia al aumento durante el almacenamiento.

Se observó un aumento en el OJ index del jugo durante el almacenamiento, sin embargo, no se consideró que sea un parámetro apropiado para definir la vida útil pues no hay un OJ index máximo aceptable.

El contenido de diacetilo mostró un aumento significativo durante el almacenamiento a 22°C.

No se observó crecimiento microbiológico en el jugo concentrado de naranja durante el almacenamiento.

Se determinó que el contenido de ácido ascórbico es el parámetro más apropiado para definir la vida útil del producto, dado que fue el parámetro que presentó un mejor coeficiente de determinación en el gráfico de vida útil, y que es la principal vitamina presente en el jugo concentrado de naranja.

Se determinó con base en la disminución del ácido ascórbico que la vida útil del jugo concentrado de naranja almacenado a -10°C es de 480 días.

## **CAPITULO 6**

### **RECOMENDACIONES**

Se recomienda realizar un análisis sensorial a temperaturas más bajas, para definir el comportamiento en el color y sabor.

Se recomienda realizar pruebas de aceptación de color del jugo concentrado de naranja, esto con el fin de definir el límite máximo de pardeamiento aceptable.

Se recomienda el uso de atmósfera inerte para el estudio del pardeamiento del jugo concentrado de naranja.

Se recomienda evaluar la formación de etanol durante el almacenamiento.

## BIBLIOGRAFIA

- ANZUETO, C. 1991. Vida útil de alimentos procesados. CINDE, San José, Costa Rica.
- ASKAR, A. & TREPTW, H. 1993. Assurance in tropical fruit processing. Springer-Verlag, Germany.
- BELITZ, H. & GROSCH, W. 1985. Química de alimentos. Acribia, Zaragoza.
- BERRY, R. 1985. Recent developments in analytical techniques for citrus products. *Food technology* 39 (9): 91-94.
- BOLAÑOS, D. 2000. Características del jugo concentrado de naranja. Comunicación personal.
- BUSLIG, B. 1985. Instrumental measurement orange juice color. *Food technology* 39 (9): 95-97.
- CORPORACIÓN COLOMBIA INTERNACIONAL. 2000. Perfil de producto: naranja. INTERNET: <http://www.cci.org.co/publicaciones/perfil%20de%20producto/perfilnaranja9.pdf>
- CUBERO, E. 2000. Prueba dúo-trío. Curso de análisis sensorial y reológico de los alimentos. Universidad de Costa Rica, Escuela de Tecnología de alimentos. Comunicación personal.
- DANIELS, F. & ALBERTH, R. 1961. *Physical Chemistry*. 2 ed. John Willey & Sons, New York.
- DETHMERS, A. 1979. Utilizing sensory evaluation to determine product shelf life. *Food Technology* 33 (9): 40-42.

- FERNÁNDEZ, N. & DÍAZ, J. 1984. Estudio de la correlación entre el contenido de Hidroximetilfurfural y el pardeamiento no enzimático en el jugo de toronja. Boletín Técnico Labal 4 (1-4): 9-15.
- FRAZIER, W. 1993. Microbiología de los alimentos. 3 ed. Acribia, Zaragoza.
- GARRO, R. & HERNANDEZ, E. 1974. Método para eliminar interferencias en la determinación del índice de diacetilo en zumos de naranja. Revista de agroquímica y tecnología de alimentos 14 (1) 144-149.
- HART, F. & FISHER, H. 1971. Análisis moderno de los alimentos. Springer-verlag, New York.
- HATCHER, W., WEIHET, J., SPLITTSFOESSER, D., HILL, E. & PARISH, U. 1992. Compendium of methods for the microbiological examination of foods. 3 ed. American Public Health Association. USA.
- HENDRIX, C.M. 1986. Quality control manual for citrus processing plants. INTERCT. Florida. vol I.
- INTECO, 1997. Norma para jugo de naranja: especificaciones.
- IZQUIERDO, L. 1994. Factores de calidad del zumo de naranja. In simposio naranja y salud. Gráficas Izquierdo. Valencia.
- JOHNSON, J., BRADDOCK, R. & CHEN, C. 1995. Kinetics of ascorbic acid loss and nonenzymatic browning in orange juice serum: experimental rate constants. Journal of food science 60 (3): 502-505.

- KACEM, B., MATTHEWS, R., CRANDALL, P. & CORNELL, J. 1987. Nonenzymatic browning in aseptically packaged orange juice and orange drinks. *Journal of food science* 52 (6):1665-1672.
- KANNER, J; FISHBEIN, J; SHALOM, P; HAREL, S & BEN-GERA, I. 1982. Storage stability of orange juice concentrate packaged aseptically. *Journal of food science* 47: 429-432.
- KIMBALL, D. 1991. *Citrus processing*. Chapman & Hall. New York.
- KOOPER, G. 1994. Cómo determinar la vida útil de un alimento. In taller regional sobre pequeña y mediana empresa alimentaria. CITA. Costa Rica.
- LABUZA, T. 1973. Effects of dehydration and store. *Food Technology* 27 (9).
- LABUZA, T. 1982. Shelf life dating of foods. Food & Nutrition, Press. Connecticut.
- LABUZA, T & SCHMIDL, M. 1985. Accelerated shelf-life testing of foods. *Food Technology* 39 (9): 57-64.
- MARCY, J., GRAUMLICH, T., CRANDALL, P. & MARSHALL, L. 1984. Factors affecting storage of orange concentrate. *Journal of Food Science* 49: 1628-1629.
- MATISSEK, R., SCHNEPEL, F. & STEINER, G. 1998. *Análisis de alimentos: fundamentos, métodos, aplicaciones*. Acibia, Zaragoza.
- MATTHEWS, R. 2001. Frozen Concentrated Orange Juice From Florida Orange. INTERNET: [http://edis.ifas.ufl.edu/BODY\\_CH095](http://edis.ifas.ufl.edu/BODY_CH095).

- MEYDAV, S., SAGUY I. & KOPELMAN, J. 1977. Browning determination in citrus products. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 25 (3): 602-604.
- MEYDAV, S. & BEREK, Z. 1978. Colorimetric determination of browning precursors in orange juice products. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 26 (1): 282-285.
- MURDOCK, D. Diacetyl test as a quality control tool in processing frozen concentrated orange juice. *Food technology* 22: 90-94.
- NAVARRO, J., LAFUENTE, B., GASQUE, F., IZQUIERSO, L. & NADAL, M. 1981. Influencia de la temperatura de almacenamiento sobre la calidad del zumo concentrado de naranja. *Revista de agroquímica y tecnología de alimentos* 21 (4): 505-513.
- PIÑO, J., GARRIGAL, E. & HERNANDEZ, I. 1991. Evaluación de algunos indicadores de la calidad del jugo natural de naranja. *Ciencia y Tecnología de Alimentos* 1(1):24-30.
- PORRAS, A. 2002. Mercado internacional de jugo de naranja. *Boletín informativo consejo nacional de producción* (2): 1-2.
- PROCOMER, 2001. Series de valor exportado. Promotora de comercio exterior. San José, Costa Rica.
- SAGUY, I., KOPELMAN, J. & MIZRAHI, S. 1978. Extent of nonenzymatic browning in grapefruit juice during thermal and concentration processes: kinetics and prediction. *Journal Food Proc. Preserv.* 2: 175-184.
- ANÓNIMO, 2002. Colorímetros. INTERNET:  
<http://www.moon.act.uji.es/~color/color/equipos.htm>

SUNKIST GROWERS, 2000. Citrus Varieties. INTERNET: <http://www.sunkist.com>.

TETRA PAK, 1998. The Orange Book. Pyramid communication. Swedwen.

TOWNSEND, C. 1999. Vitamin C and Citrus Juices. INTERNET:  
<http://www.ultimatecitrus.com>

## **APENDICE**

## APENDICE A

Cuadro A1. Análisis químicos del jugo concentrado de naranja almacenado a  $-20.5^{\circ}\text{C}$  durante 307 días.

Lote	Día	Vit C	Diacetilo	OJ index	Encafecimiento
1	0	43,8	0,045	37,587	0,126
1	63	42	0,050	38,624	0,135
1	119	41	0,040	38,356	0,127
1	183	42,5	0,038	38,038	0,137
1	245	41,3	0,018	38,619	0,115
1	307	41,8	0,053	38,339	0,226
2	0	44	0,030	37,313	0,123
2	63	43,5	0,049	38,336	0,133
2	119	42,4	0,047	38,139	0,13
2	183	43,2	0,074	37,843	0,134
2	245	42,4	0,010	38,358	0,116
2	307	43,5	0,012	38,164	0,185
3	0	45,6	0,007	37,505	0,115
3	63	45,1	0,009	38,61	0,134
3	119	43,2	0,004	38,31	0,127
3	183	43,7	0,009	38,822	0,13
3	245	42,9	0,002	38,439	0,102
3	307	44	0,026	38,341	0,221
4	0	43,4	0,055	37,388	0,127
4	63	42,4	0,056	38,124	0,126
4	119	41	0,029	37,525	0,126
4	183	42	0,064	37,815	0,133
4	245	41,4	0,009	38,315	0,11
4	307	42,5	0,068	37,896	0,207

Cuadro A2. Análisis químicos del jugo concentrado de naranja almacenado a -12 °C durante 300 días.

Lote	Día	Vit C	Diacetilo	OJ index	Encafecimiento
1	0	43,8	0,045	37,587	0,126
1	63	42,4	0,008	38,504	0,138
1	120	40,8	0,059	37,441	0,133
1	182	41,4	0,033	38,013	0,129
1	252	40,9	0,027	38,08	0,115
1	300	41,9	0,09	38,134	0,226
2	0	44	0,03	37,313	0,123
2	63	44,3	0,076	38,119	0,128
2	120	42,8	0,039	37,763	0,127
2	182	43,5	0,01	37,949	0,133
2	252	42,2	0,011	37,81	0,108
2	300	43,5	0,033	37,885	0,185
3	0	45,6	0,007	37,505	0,115
3	63	44,3	0,047	38,621	0,125
3	120	43,1	0,022	37,468	0,122
3	182	43,2	0,045	37,959	0,135
3	252	42,7	0,032	37,874	0,119
3	300	44,7	0,076	38,028	0,221
4	0	43,4	0,055	37,388	0,127
4	63	42	0,022	38,039	0,128
4	120	40,8	0,026	37,343	0,125
4	182	41,5	0,012	37,821	0,138
4	252	41,6	0,028	37,847	0,135
4	300	43,2	0,043	38,021	0,207

Cuadro A3. Análisis químicos del jugo concentrado de naranja almacenado a 8 °C durante 147 días.

Lote	Día	Vit C	Diacetilo	OJ index	Encafecimiento
1	0	43,8	0,045	37,587	0,126
1	30		0,052	36,802	0,146
1	63	39,2	0,083	37,919	0,128
1	91	39,8	0,084	37,866	0,134
1	116	39,8	0,012	38,679	0,138
1	147	39,9	0,007	37,696	0,147
2	0	44,0	0,030	37,313	0,123
2	30		0,064	36,51	0,137
2	63	40,0	0,070	37,597	0,129
2	91	41,9	0,036	37,484	0,132
2	116	38,7	0,051	37,775	0,133
2	147	39,8	0,062	37,439	0,142
3	0	45,6	0,007	37,505	0,115
3	30		0,055	36,772	0,132
3	63	42,3	0,048	37,795	0,124
3	91	43,6	0,004	37,582	0,124
3	116	40,3	0,048	37,949	0,147
3	147	40,6	0,177	37,747	0,143
4	0	43,4	0,055	37,388	0,127
4	30		0,027	36,768	0,148
4	63	39,6	0,016	37,75	0,126
4	91	40,6	0,056	37,585	0,130
4	116	40,5	0,010	38,115	0,142
4	147	40,9	0,061	38,043	0,150

Cuadro A4. Análisis químicos del jugo concentrado de naranja almacenado a 22 °C durante 15 días.

Lote	Día	Vit C	Diacetilo	OJ index	Encafecimiento
1	0	43,8	0,045	37,587	0,126
1	3	43,1	0,045	37,176	0,132
1	6	41,3	0,074	37,529	0,122
1	9	41,1	0,106	37,285	0,145
1	12	41,4	0,119	37,776	0,159
1	15	41,1	0,106	38,328	0,137
2	0	44	0,03	37,313	0,123
2	3	43,2	0,032	36,814	0,132
2	6	43,7	0,095	37,253	0,129
2	9	42,8	0,081	36,956	0,137
2	12	42,2	0,127	37,399	0,144
2	15	41,8	0,075	37,939	0,134
3	0	45,6	0,007	37,505	0,115
3	3	44,7	0,047	36,948	0,132
3	6	44,8	0,042	37,265	0,125
3	9	44,3	0,089	37,078	0,131
3	12	43	0,09	37,462	0,139
3	15	43,3	0,071	37,922	0,133
4	0	43,4	0,055	37,388	0,127
4	3	43,2	0,076	33,044	0,136
4	6	41,1	0,079	37,279	0,134
4	9	41,2	0,095	37,066	0,141
4	12	41,9	0,059	37,499	0,144
4	15	41,7	0,103	38,077	0,135

## APÉNDICE B

Cuadro B1. Valores promedio de los análisis químicos del jugo concentrado de naranja almacenado a -20.5 °C durante 307 días.

		TIEMPO ALMACENAMIENTO					
		0	63	119	183	245	307
<b>Acido Ascórbico</b>	Promedio	44,2	43,3	41,9	42,9	42,0	43,0
	Estimado	43,5	43,2	43,0	42,8	42,5	42,2
	Intervalo confianza	0,9468	1,3591	1,0675	0,7355	0,7633	0,9685
<b>Diacetilo</b>	Promedio	0,034	0,041	0,030	0,046	0,010	0,040
	Estimado	0,037	0,036	0,034	0,033	0,032	0,031
	Intervalo confianza	0,0205	0,0211	0,0185	0,0285	0,0064	0,0249
<b>OJ index</b>	Promedio	37,448	38,424	38,083	38,130	38,433	38,185
	Estimado	37,848	37,961	38,062	38,177	38,289	38,401
	Intervalo confianza	0,1192	0,2349	0,3755	0,4627	0,1317	0,2056
<b>Indice de encafecimiento</b>	Promedio	0,123	0,132	0,128	0,134	0,111	0,209
	Estimado	0,113	0,125	0,137	0,149	0,162	0,174
	Intervalo confianza	0,0053	0,0040	0,0017	0,0028	0,0063	0,0180

Cuadro B2. Valores promedio de los análisis químicos del jugo concentrado de naranja almacenado a -12 °C durante 300 días.

		TIEMPO ALMACENAMIENTO					
		0	63	120	182	252	300
<b>Acido Ascórbico</b>	Promedio	44,2	43,3	41,9	42,4	41,9	43,3
	Estimado	43,4	43,2	43,0	42,7	42,4	42,2
	Intervalo confianza	0,9468	1,1989	1,2224	1,0824	0,7612	1,1270
<b>Diacetilo</b>	Promedio	0,034	0,038	0,037	0,025	0,024	0,061
	Estimado	0,031	0,033	0,035	0,037	0,039	0,040
	Intervalo confianza	0,0205	0,0293	0,0163	0,0166	0,0091	0,0264
<b>OJ index</b>	Promedio	37,448	38,321	37,504	37,936	37,903	38,017
	Estimado	37,707	37,770	37,827	37,889	37,959	38,007
	Intervalo confianza	0,1192	0,2794	0,1774	0,0797	0,1186	0,1000
<b>Indice de encafecimiento</b>	Promedio	0,123	0,130	0,127	0,134	0,119	0,209
	Estimado	0,113	0,125	0,137	0,149	0,163	0,173
	Intervalo confianza	0,0053	0,0056	0,0046	0,0037	0,0112	0,0180

Cuadro B3. Valores promedio de los análisis químicos del jugo concentrado de naranja almacenado a 8 °C durante 147 días.

		TIEMPO ALMACENAMIENTO					
		0	30	63	91	116	147
<b>Acido Ascórbico</b>	Promedio	44,2		40,3	39,5	39,8	40,3
	Estimado	41,6	41,2	40,7	40,3	40,0	39,5
	Intervalo confianza	0,9468	#iDIV/0!	1,3611	5,1567	0,7896	0,5247
<b>Diacetilo</b>	Promedio	0,034	0,050	0,054	0,045	0,030	0,077
	Estimado	0,037	0,040	0,044	0,047	0,049	0,052
	Intervalo confianza	0,0205	0,0155	0,0287	0,0330	0,0218	0,0702
<b>OJ index</b>	Promedio	37,448	36,713	37,765	37,630	38,130	37,731
	Estimado	37,165	37,327	37,505	37,656	37,791	37,959
	Intervalo confianza	0,1192	0,1335	0,1303	0,1614	0,3839	0,2428
<b>Indice de encafecimiento</b>	Promedio	0,123	0,141	0,127	0,130	0,140	0,146
	Estimado	0,126	0,129	0,133	0,135	0,138	0,141
	Intervalo confianza	0,0053	0,0074	0,0022	0,0042	0,0058	0,0036

Cuadro B4. Valores promedio de los análisis químicos del jugo concentrado de naranja almacenado a 22 °C durante 15 días.

		TIEMPO ALMACENAMIENTO					
		0	3	6	9	12	15
<b>Acido Ascórbico</b>	Promedio	44,2	43,6	42,7	42,3	42,1	42,0
	Estimado	44,0	43,5	43,0	42,6	42,1	41,7
	Intervalo confianza	0,9468	0,7527	1,7827	1,4851	0,6568	0,9171
<b>Diacetilo</b>	Promedio	0,034	0,050	0,073	0,093	0,099	0,089
	Estimado	0,041	0,054	0,067	0,079	0,092	0,104
	Intervalo confianza	0,0205	0,0182	0,0218	0,0103	0,0303	0,0179
<b>OJ index</b>	Promedio	37,448	35,996	37,332	37,096	37,534	38,067
	Estimado	36,713	36,927	37,140	37,354	37,567	37,781
	Intervalo confianza	0,1192	1,9338	0,1345	0,1632	0,1632	0,1839
<b>Indice de encafecimiento</b>	Promedio	0,123	0,133	0,128	0,138	0,147	0,135
	Estimado	0,126	0,129	0,133	0,136	0,139	0,143
	Intervalo confianza	0,0053	0,0020	0,0051	0,0059	0,0085	0,0017

## APÉNDICE C

Cuadro C1. Regresión lineal y logarítmica para el contenido de diacetilo en el jugo concentrado de naranja almacenado a  $-20.5^{\circ}\text{C}$ .

Lineal				Logarítmica			
Lote	m	b	R <sup>2</sup>	Lote	m	b	R <sup>2</sup>
1	-3,00E-05	0,047	0,0595	1	-5,00E-04	-1,3439	0,0957
2	-8,00E-05	0,05	0,1566	2	-1,80E-03	-1,2582	0,3475
3	4,00E-05	0,0038	0,2499	3	6,00E-04	-2,2464	0,0336
4	-2,00E-05	0,0496	0,0079	4	-7,00E-04	-1,2988	0,060

Cuadro C2. Regresión lineal y logarítmica para el contenido de diacetilo en el jugo concentrado de naranja almacenado a  $-12^{\circ}\text{C}$ .

Lineal				Logarítmica			
Lote	m	b	R <sup>2</sup>	Lote	m	b	R <sup>2</sup>
1	1,00E-04	0,0263	0,2059	1	1,30E-03	-1,6545	0,1578
2	1,00E-04	0,0484	0,221	2	-1,40E-03	-1,3673	0,2225
3	1,00E-04	0,0154	0,5086	3	2,30E-03	-1,8723	0,5396
4	-3,00E-05	0,0352	0,0409	4	-3,00E-04	-1,5155	0,0179

Cuadro C3. Regresión lineal y logarítmica para el contenido de diacetilo en el jugo concentrado de naranja almacenado a  $8^{\circ}\text{C}$ .

Lineal				Logarítmica			
Lote	M	b	R <sup>2</sup>	Lote	m	B	R <sup>2</sup>
1	3,00E-04	0,0683	0,2173	1	5,60E-03	-1,0586	0,4577
2	9,00E-05	0,0456	0,0889	2	1,00E-03	-1,3768	0,133
3	8,00E-04	-0,0003	0,4361	3	5,60E-03	-1,948	0,2414
4	2,00E-05	0,0361	0,0021	4	5,00E-04	-1,478	0,0068

Cuadro C4. Regresión lineal y logarítmica para el contenido de diacetilo en el jugo concentrado de naranja almacenado a  $22^{\circ}\text{C}$ .

Lineal				Logarítmica			
Lote	M	b	R <sup>2</sup>	Lote	m	b	R <sup>2</sup>
1	5,30E-03	0,0426	0,8389	1	3,13E-02	-1,3509	0,84
2	4,70E-03	0,0379	0,5023	2	3,54E-02	-1,4576	0,5941
3	4,70E-03	0,0221	0,6911	3	5,85E-02	-1,7876	0,6369
4	2,00E-03	0,0631	0,3363	4	1,06E-02	-1,1994	0,3032

Cuadro C5. Regresión lineal y logarítmica para el contenido de ácido ascórbico en el jugo concentrado de naranja almacenado a  $-20.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Lineal				Logarítmico			
Lote	M	b	R <sup>2</sup>	Lote	m	B	R <sup>2</sup>
1	-4,90E-03	42,814	0,3149	1	-5,00E-05	1,6314	0,3104
2	-2,30E-03	43,515	0,1627	2	-2,00E-05	1,6386	0,1606
3	-6,50E-03	45,075	0,4886	3	-6,00E-05	1,6539	0,484
4	-3,00E-03	42,568	0,1574	4	-3,00E-05	1,629	0,1534

Cuadro C6. Regresión lineal y logarítmica para el contenido de ácido ascórbico en el jugo concentrado de naranja almacenado a  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Lineal				Logarítmico			
Lote	M	b	R <sup>2</sup>	Lote	m	b	R <sup>2</sup>
1	-6,40E-03	42,84	0,4165	1	-7,00E-05	1,6317	0,4117
2	-3,90E-03	43,982	0,3335	2	-4,00E-05	1,6433	0,3312
3	-4,50E-03	44,62	0,2091	3	-4,00E-05	1,6494	0,2075
4	-8,00E-03	42,206	0,0081	4	-8,00E-06	1,6252	0,0077

Cuadro C7. Regresión lineal y logarítmica para el contenido de ácido ascórbico en el jugo concentrado de naranja almacenado a  $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Lineal				Logarítmico			
Lote	M	b	R <sup>2</sup>	Lote	m	B	R <sup>2</sup>
1	-2,51E-02	42,595	0,5686	1	-3,00E-04	1,6288	0,5615
2	-2,99E-02	43,37	0,6396	2	-3,00E-04	1,637	0,632
3	-3,50E-02	45,398	0,7949	3	-4,00E-04	1,6573	0,7911
4	-1,57E-02	42,312	0,3814	4	-2,00E-04	1,6261	0,3698

Cuadro C8. Regresión lineal y logarítmica para el contenido de ácido ascórbico en el jugo concentrado de naranja almacenado a  $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Lineal				Logarítmica			
Lote	M	b	R <sup>2</sup>	Lote	m	b	R <sup>2</sup>
1	-1,79E-01	43,31	0,7303	1	-1,80E-03	1,6365	0,7306
2	-1,42E-01	44,014	0,8725	2	-1,40E-03	1,6437	0,8733
3	-1,63E-01	45,505	0,8724	3	-1,60E-03	1,6581	0,8703
4	-1,17E-01	42,962	0,4403	4	-1,20E-03	1,633	0,4345

Cuadro C9. Regresión lineal y logarítmica para el índice de encafecimiento en el jugo concentrado de naranja almacenado a  $-20.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Lineal				Logarítmica			
Lote	M	b	R <sup>2</sup>	Lote	m	b	R <sup>2</sup>
1	2,00E-04	0,1123	0,3508	1	5,00E-04	-0,93	0,313
2	1,00E-04	0,1182	0,3262	2	3,00E-04	-0,9198	0,2937
3	2,00E-04	0,1071	0,3088	3	5,00E-04	-0,9495	0,2492
4	2,00E-04	0,1126	0,3086	4	4,00E-04	-0,9336	0,2616

Cuadro C10. Regresión lineal y logarítmica para el índice de encafecimiento en el jugo concentrado de naranja almacenado a  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Lineal				Logarítmica			
Lote	M	b	R <sup>2</sup>	Lote	m	B	R <sup>2</sup>
1	2,00E-04	0,1154	0,285	1	5,00E-04	-0,9204	0,2423
2	1,00E-04	0,1167	0,2392	2	3,00E-04	-0,925	0,1918
3	2,00E-04	0,1032	0,4469	3	6,00E-04	-0,9643	0,4579
4	2,00E-04	0,1132	0,5085	4	5,00E-04	-0,9325	0,5335

Cuadro C11. Regresión lineal y logarítmica para el índice de encafecimiento en el jugo concentrado de naranja almacenado a  $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Lineal				Logarítmica			
Lote	M	b	R <sup>2</sup>	Lote	m	b	R <sup>2</sup>
1	8,00E-05	0,1306	0,2682	1	3,00E-04	-0,8847	0,2769
2	8,00E-05	0,1263	0,5087	2	3,00E-04	-0,8987	0,5121
3	2,00E-04	0,1177	0,6209	3	6,00E-04	-0,9283	0,6248
4	9,00E-05	0,1303	0,2222	4	3,00E-04	-0,8856	0,2248

Cuadro C12. Regresión lineal y logarítmica para el índice de encafecimiento en el jugo concentrado de naranja almacenado a  $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Lineal				Logarítmica			
Lote	M	b	R <sup>2</sup>	Lote	m	B	R <sup>2</sup>
1	1,50E-03	0,1256	0,3961	1	4,70E-03	-0,9008	0,4044
2	9,00E-04	0,126	0,5713	2	3,10E-03	-0,8995	0,5804
3	1,10E-03	0,1212	0,561	3	3,70E-03	-0,9171	0,562
4	7,00E-04	0,1311	0,4191	4	2,10E-03	-0,8827	0,425

Cuadro C13. Regresión lineal y logarítmica para el OJ ("orange index") en el jugo concentrado de naranja almacenado a  $-20.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Lineal				Logarítmico			
Lote	M	b	R <sup>2</sup>	Lote	m	B	R <sup>2</sup>
1	1,60E-03	38,015	0,2174	1	2,00E-05	1,5799	0,2194
2	1,90E-03	37,738	0,2985	2	2,00E-05	1,5767	0,3002
3	2,00E-03	38,039	0,247	3	2,00E-05	1,5802	0,2495
4	1,60E-03	37,598	0,278	4	2,00E-05	1,5751	0,2794

Cuadro C14. Regresión lineal y logarítmica para el OJ ("orange index") en el jugo concentrado de naranja almacenado a  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Lineal				Logarítmico			
Lote	M	b	R <sup>2</sup>	Lote	m	B	R <sup>2</sup>
1	1,00E-03	37,808	0,0846	1	1,00E-05	1,5776	0,0863
2	1,00E-03	37,654	0,1753	2	1,00E-05	1,5758	0,1775
3	4,00E-04	37,844	0,0134	3	5,00E-06	1,5779	0,0145
4	1,50E-03	37,521	0,2933	4	2,00E-05	1,5743	0,2939

Cuadro C15. Regresión lineal y logarítmica para el OJ ("orange index") en el jugo concentrado de naranja almacenado a  $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Lineal				Logarítmica			
Lote	M	b	R <sup>2</sup>	Lote	m	b	R <sup>2</sup>
1	6,00E-03	37,314	0,2893	1	7,00E-05	1,5718	0,2896
2	4,30E-03	37,036	0,2782	2	5,00E-05	1,5686	0,2772
3	4,50E-03	37,226	0,3425	3	5,00E-05	1,5708	0,3409
4	7,00E-03	37,087	0,598	4	8,00E-05	1,5692	0,5946

Cuadro C16. Regresión lineal y logarítmica para el OJ ("orange index") en el jugo concentrado de naranja almacenado a  $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Lineal				Logarítmica			
Lote	M	b	R <sup>2</sup>	Lote	m	b	R <sup>2</sup>
1	5,01E-02	37,238	0,4684	1	6,00E-04	1,571	0,467
2	4,37E-02	36,951	0,3894	2	5,00E-04	1,5676	0,3877
3	3,28E-02	37,118	0,2795	3	4,00E-04	1,5696	0,2782
4	4,38E-02	37,064	0,4188	4	5,00E-04	1,569	0,4174

## APÉNDICE D

Cuadro D1. Determinación de los valores promedio del índice de encafecimiento y contenido de diacetilo en el momento antes de la detección del cambio sensorial.

Lote	Temperatura de almacenamiento (°C)	Contenido de diacetilo (ppm)	Índice de encafecimiento
1	8	0.052	0.128
2	8	0.064	0.137
3	8	0.055	0.132
4	8	0.027	0.122
Promedio	8	0.050	0.131

## APÉNDICE E

Cuadro E1. Análisis microbiológicos del jugo concentrado de naranja en el día 0 de almacenamiento.

Lote	Recuento total aeróbico (UFC/ml)	Bacterias acidúricas (UFC/ml)	Hongos (Ufc/ml)	Levaduras (UFC/ml)
1	10	<10	10	10
2	<10	<10	<10	<10
3	10	20	<10	<10
4	20	10	<10	10

Cuadro B2. Análisis microbiológicos del jugo concentrado de naranja a los 63 días de almacenamiento a 22°C.

Lote	Recuento total aeróbico (UFC/ml)	Bacterias acidúricas (UFC/ml)	Hongos (Ufc/ml)	Levaduras (UFC/ml)
1	10	10	<10	<10
2	<10	<10	<10	10
3	<10	<10	<10	<10
4	<10	10	<10	<10

Cuadro E3. Análisis microbiológicos del jugo concentrado de naranja a los 119 días de almacenamiento a -20.5 °C.

Lote	Recuento total aeróbico (UFC/ml)	Bacterias acidúricas (UFC/ml)	Hongos (Ufc/ml)	Levaduras (UFC/ml)
1	<10	<10	<10	<10
2	<10	<10	<10	<10
3	<10	<10	<10	<10
4	<10	<10	10	<10

Cuadro E4. Análisis microbiológicos del jugo concentrado de naranja a los 183 días de almacenamiento a -20.5 °C.

Lote	Recuento total aeróbico (UFC/ml)	Bacterias acidúricas (UFC/ml)	Hongos (Ufc/ml)	Levaduras (UFC/ml)
1	<10	<10	<10	<10
2	10	<10	<10	<10
3	10	<10	<10	<10
4	<10	<10	<10	<10

Cuadro E5. Análisis microbiológicos del jugo concentrado de naranja a los 245 días de almacenamiento a -20.5 °C.

Lote	Recuento total aeróbico (UFC/ml)	Bacterias acidúricas (UFC/ml)	Hongos (Ufc/ml)	Levaduras (UFC/ml)
1	<10	<10	<10	<10
2	10	<10	<10	<10
3	<10	<10	<10	<10
4	<10	<10	<10	<10

Cuadro E6. Análisis microbiológicos del jugo concentrado de naranja a los 307 días de almacenamiento a -20.5 °C.

Lote	Recuento total aeróbico (UFC/ml)	Bacterias acidúricas (UFC/ml)	Hongos (Ufc/ml)	Levaduras (UFC/ml)
1	< 10	< 10	< 10	< 10
2	< 10	< 10	< 10	< 10
3	< 10	< 10	< 10	< 10
4	< 10	< 10	< 10	< 10

Cuadro E7. Análisis microbiológicos del jugo concentrado de naranja almacenado a -12 °C durante 63 días.

Lote	Recuento total aeróbico (UFC/ml)	Bacterias acidúricas (UFC/ml)	Hongos (Ufc/ml)	Levaduras (UFC/ml)
1	<10	10	<10	<10
2	<10	<10	<10	<10
3	10	10	<10	<10
4	<10	<10	<10	<10

Cuadro E8. Análisis microbiológicos del jugo concentrado de naranja almacenado a -12 °C durante 120 días.

Lote	Recuento total aeróbico (UFC/ml)	Bacterias acidúricas (UFC/ml)	Hongos (Ufc/ml)	Levaduras (UFC/ml)
1	<10	<10	<10	<10
2	<10	<10	<10	<10
3	<10	<10	<10	<10
4	<10	<10	<10	<10

Cuadro E9. Análisis microbiológicos del jugo concentrado de naranja almacenado a -12 °C durante 182 días.

Lote	Recuento total aeróbico (UFC/ml)	Bacterias acidúricas (UFC/ml)	Hongos (Ufc/ml)	Levaduras (UFC/ml)
1	<10	<10	<10	<10
2	<10	<10	<10	<10
3	10	10	<10	<10
4	<10	<10	<10	<10

Cuadro E10. Análisis microbiológicos del jugo concentrado de naranja almacenado a -12 °C durante 252 días.

Lote	Recuento total aeróbico (UFC/ml)	Bacterias acidúricas (UFC/ml)	Hongos (Ufc/ml)	Levaduras (UFC/ml)
1	10	10	<10	<10
2	<10	<10	<10	<10
3	<10	<10	<10	<10
4	<10	<10	<10	<10

Cuadro E11. Análisis microbiológicos del jugo concentrado de naranja almacenado a -12 °C durante 300 días.

Lote	Recuento total aeróbico (UFC/ml)	Bacterias acidúricas (UFC/ml)	Hongos (Ufc/ml)	Levaduras (UFC/ml)
1	<10	<10	<10	<10
2	<10	<10	<10	<10
3	<10	<10	<10	<10
4	<10	<10	<10	<10

Cuadro E12. Análisis microbiológicos del jugo concentrado de naranja almacenado a 8 °C durante 30 días.

Lote	Recuento total aeróbico (UFC/ml)	Bacterias acidúricas (UFC/ml)	Hongos (Ufc/ml)	Levaduras (UFC/ml)
1	10	10	<10	10
2	10	<10	<10	10
3	10	<10	10	<10
4	10	<10	<10	10

Cuadro E13. Análisis microbiológicos del jugo concentrado de naranja almacenado a 8 °C durante 63 días.

Lote	Recuento total aeróbico (UFC/ml)	Bacterias acidúricas (UFC/ml)	Hongos (Ufc/ml)	Levaduras (UFC/ml)
1	<10	<10	10	<10
2	<10	10	<10	<10
3	<10	<10	<10	<10
4	<10	10	10	<10

Cuadro E14. Análisis microbiológicos del jugo concentrado de naranja almacenado a 8 °C durante 91 días.

Lote	Recuento total aeróbico (UFC/ml)	Bacterias acidúricas (UFC/ml)	Hongos (Ufc/ml)	Levaduras (UFC/ml)
1	<10	<10	10	<10
2	<10	<10	10	<10
3	<10	10	10	10
4	<10	<10	10	<10

Cuadro E15. Análisis microbiológicos del jugo concentrado de naranja almacenado a 8 °C durante 116 días.

Lote	Recuento total aeróbico (UFC/ml)	Bacterias acidúricas (UFC/ml)	Hongos (Ufc/ml)	Levaduras (UFC/ml)
1	<10	<10	10	<10
2	<10	<10	<10	<10
3	<10	<10	<10	<10
4	<10	<10	<10	<10

Cuadro E16. Análisis microbiológicos del jugo concentrado de naranja almacenado a 8 °C durante 147 días.

Lote	Recuento total aeróbico (UFC/ml)	Bacterias acidúricas (UFC/ml)	Hongos (Ufc/ml)	Levaduras (UFC/ml)
1	<10	<10	<10	10
2	<10	<10	<10	<10
3	<10	<10	<10	<10
4	10	<10	10	10

Cuadro E17. Análisis microbiológicos del jugo concentrado de naranja almacenado a 22 °C durante 3 días.

Lote	Recuento total aeróbico (UFC/ml)	Bacterias acidúricas (UFC/ml)	Hongos (Ufc/ml)	Levaduras (UFC/ml)
1	<10	<10	<10	<10
2	<10	<10	<10	<10
3	<10	<10	<10	<10
4	<10	<10	10	<10

Cuadro E18. Análisis microbiológicos del jugo concentrado de naranja almacenado a 22 °C durante 6 días.

Lote	Recuento total aeróbico (UFC/ml)	Bacterias acidúricas (UFC/ml)	Hongos (Ufc/ml)	Levaduras (UFC/ml)
1	<10	<10	<10	<10
2	<10	10	<10	10
3	<10	20	<10	10
4	10	<10	10	10

Cuadro E19. Análisis microbiológicos del jugo concentrado de naranja almacenado a 22 °C durante 9 días.

Lote	Recuento total aeróbico (UFC/ml)	Bacterias acidúricas (UFC/ml)	Hongos (Ufc/ml)	Levaduras (UFC/ml)
1	<10	<10	<10	<10
2	<10	<10	<10	<10
3	30	<10	<10	<10
4	<10	<10	<10	<10

Cuadro E20. Análisis microbiológicos del jugo concentrado de naranja almacenado a 22 °C durante 12 días.

Lote	Recuento total aeróbico (UFC/ml)	Bacterias acidúricas (UFC/ml)	Hongos (Ufc/ml)	Levaduras (UFC/ml)
1	<10	<10	10	<10
2	<10	10	<10	<10
3	<10	<10	<10	<10
4	<10	10	<10	<10

Cuadro E21. Análisis microbiológicos del jugo concentrado de naranja almacenado a 22 °C durante 15 días.

Lote	Recuento total aeróbico (UFC/ml)	Bacterias acidúricas (UFC/ml)	Hongos (Ufc/ml)	Levaduras (UFC/ml)
1	<10	<10	<10	<10
2	20	<10	<10	10
3	<10	30	<10	<10
4	<10	40	10	10

## APÉNDICE F

Cuadro F1. Determinación de la vida útil del jugo concentrado de naranja a partir de la regresión lineal del contenido de diacetilo.

Temperatura	M	b	r2	y	x
-20,5	-2,30E-05	0,037012	0,0119	0,05	-565
-12	3,38E-05	0,031331	0,0257	0,05	552
8	1,46E-04	0,0414762	0,5158	0,05	58
22	4,18E-03	0,0414762	0,5158	0,05	2

Cuadro F2. Determinación de la vida útil del jugo concentrado de naranja a partir de la regresión lineal del índice de encafecimiento.

Temperatura	M	b	r2	y	x
-20,5	1,77E-04	0,112318	0,312	0,131	106
-12	1,85E-04	0,112012	0,3514	0,131	102
8	1,10E-04	0,12611	0,3408	0,131	45
22	1,06E-03	0,125869	0,3721	0,131	5

Cuadro F3. Determinación de la vida útil del jugo concentrado de naranja a partir de las ecuaciones de mejor ajuste de la gráfica de contenido de ácido ascórbico contra el tiempo de almacenamiento.

Temperatura	Lote	m	b	r2	Y	x	Prom X
-20,5	1	-4,90E-03	42,814	0,3149	40	574	935
-20,5	2	-2,30E-03	43,515	0,1627	40	1528	
-20,5	3	-6,50E-03	45,075	0,4886	40	781	
-20,5	4	-3,00E-03	42,568	0,1574	40	856	
-12	1	-6,40E-03	42,84	0,4165	40	444	692
-12	2	-3,90E-03	43,982	0,3335	40	1021	
-12	3	-4,50E-03	44,62	0,2091	40	1027	
-12	4	-8,00E-03	42,206	0,0081	40	276	
8	1	-2,51E-02	42,595	0,5686	40	103	129
8	2	-2,99E-02	43,37	0,6396	40	113	
8	3	-3,50E-02	45,398	0,7949	40	154	
8	4	-1,57E-02	42,312	0,3814	40	147	
22	1	-1,79E-01	43,31	0,7303	40	18	26
22	2	-1,42E-01	44,014	0,8725	40	28	
22	3	-1,63E-01	45,505	0,8724	40	34	
22	4	-1,17E-01	42,962	0,4403	40	25	

## APÉNDICE G

Cuadro G1. Efecto del OJ index sobre el índice de encafecimiento del jugo concentrado de naranja durante el almacenamiento.

<b>Temperatura</b>	<b>Efectos</b>	<b>Grados libertad</b>	<b>Valor F</b>	<b>Prob&gt;F</b>
-20	OJ index	1	1.8139	0.1917
-12	OJ index	1	0.1400	0.7119
8	OJ index	1	0.0003	0.9853
22	OJ index	1	0.0005	0.9820

## APÉNDICE H

H.1. Hoja de respuestas para la prueba dúo-trío del color del jugo concentrado de naranja.

Nombre: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

A continuación se le presentan 4 sets de muestras, para valorar el color.

Proceda en el orden de presentación.

Circule la muestra que tiene igual color al estándar, si tiene duda adivine.

Set 1	R	828	919
Set 2	R	206	329
Set 3	R	834	620
Set 4	R	406	435

H.2. Hoja de respuestas para la prueba dúo-trío del color del jugo concentrado de naranja.

Nombre: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

A continuación se le presentan 4 sets de muestras, para valorar el sabor.

Proceda en el orden de presentación.

Circule la muestra que tiene igual sabor al estándar, si tiene duda adivine.

Set 1	R	401	935
Set 2	R	625	334
Set 3	R	200	929
Set 4	R	925	228

Nota: a continuación se adjuntan las tablas empleadas para el análisis de los datos de la prueba dúo-trío.

## APÉNDICE I

Cuadro I.1. Análisis de varianza de un jugo concentrado de naranja almacenado a cuatro temperaturas durante 12 meses.

Variable	Temperatura almacenamiento	Tiempo almacenamiento	Réplicas
° Brix	-	-	-
% Acid	-	-	-
Acido ascórbico	**	**	-
Furfural	-	-	-
Viscosidad suero	-	-	-
Viscosidad aparente	-	-	-
Absorbancia 420 nm	**	**	-
Color Hunter			
Citrus red	-	**	-
Yellow	**	**	-
Number	-	**	-
Taste panel	**	**	-

\*\*= Efecto significativo ( $p < 0.01$ )    -= No efecto significativo

Fuente: Marcy, *et al.* (1984)



**Table G.5.a. Minimum Numbers of Correct Judgments to Establish Significance at Various Probability Levels for Paired-Comparison and Duo-Trio Tests (one-tailed,  $p = \frac{1}{2}$ )**

No of trials (n)	Probability levels						
	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.005	0.001
7	7	7	7	7	7		
8	7	7	7	8	8	8	
9	8	8	8	8	9	9	
10	9	9	9	9	10	10	10
11	9	9	10	10	10	11	11
12	10	10	10	10	11	11	12
13	10	11	11	11	12	12	13
14	11	11	11	12	12	13	13
15	12	12	12	12	13	13	14
16	12	12	13	13	14	14	15
17	13	13	13	14	14	15	16
18	13	14	14	14	15	15	16
19	14	14	15	15	15	16	17
20	15	15	15	16	16	17	18
21	15	15	16	16	17	17	18
22	16	16	16	17	17	18	19
23	16	17	17	17	18	19	20
24	17	17	18	18	19	19	20
25	18	18	18	19	19	20	21
26	18	18	19	19	20	20	22
27	19	19	19	20	20	21	22
28	19	20	20	20	21	22	23
29	20	20	21	21	22	22	24
30	20	21	21	22	22	23	24
31	21	21	22	22	23	24	25
32	22	22	22	23	24	24	26
33	22	23	23	23	24	25	26
34	23	23	23	24	25	25	27
35	23	24	24	25	25	26	27
36	24	24	25	25	26	27	28
37	24	25	25	26	26	27	29
38	25	25	26	26	27	28	29
39	26	26	26	27	28	28	30
40	26	27	27	27	28	29	30
41	27	27	27	28	29	30	31
42	27	28	28	29	29	30	32
43	28	28	29	29	30	31	32
44	28	29	29	30	31	31	33
45	29	29	30	30	31	32	34
46	30	30	30	31	32	33	34
47	30	30	31	31	32	33	35
48	31	31	31	32	33	34	36
49	31	32	32	33	34	34	36
50	32	32	33	33	34	35	37
60	37	38	38	39	40	41	43
70	43	43	44	45	46	47	49
80	48	49	49	50	51	52	55
90	54	54	55	56	57	58	61
100	59	60	60	61	63	64	66

Source: E. B. Roessler et al., *Journal of Food Science*, 1978, 43, 940-947. Copyright © by Institute of Food Technologists. Reprinted with permission of author and publisher.