

Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa

División de ciencias biológicas y de la salud



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Compuestos volátiles y propiedades mecánicas como indicadores del proceso de senescencia de la naranja (*Citrus sinensis* Osbeck) cv Valencia

Tesis

Para obtener el grado de Maestra en Biotecnología

PRESENTA

I.A Clara Cervantes Arista

Comité tutorial:

Dra. Clara Pelayo Zaldívar

Directora

Dr. Fernando Díaz de León Sánchez

Asesor

Dr. Héctor B. Escalona Buendía

Asesor

México. Ciudad de México 29 de Agosto del 2017

“La Maestría en Biotecnología de la Universidad Autónoma Metropolitana está incluida en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del CONACYT, con la referencia 001465”

México, CDMX. a 29 de Agosto del 2017

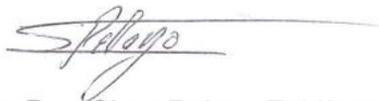
El jurado designado por la
División de Ciencias Biológicas y de la Salud de la Unidad Iztapalapa aprobó la tesis

Compuestos volátiles y propiedades mecánicas como indicadores del
proceso de senescencia de la naranja (*Citrus sinensis* Osbeck) cv
Valencia

que presentó

I.A Clara Cervantes Arista

Comité de Tutores:

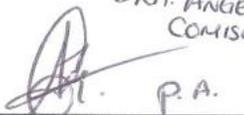


Directora: Dra. Clara Pelayo Zaldívar

Asesor: Dr. Fernando Díaz de León Sánchez

Asesor: Dr. Héctor B. Escalona Buendía

Jurado:


DRA. ANGELICA ROMÁN GUERRERO
COMISION POSGRADO BIOTECNOLOGIA
P.A.
Presidente: Dr. Irán Alía Tejacal


Vocal: Dr. Fernando Díaz de León Sánchez


Secretario: Dr. Héctor B. Escalona Buendía


Vocal: Dr. Fernando Rivera Cabrera



Casa abierta al tiempo
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

ACTA DE EXAMEN DE GRADO

No. 00241
Matrícula: 2153804198

COMPUESTOS VOLÁTILES Y PROPIEDADES MECÁNICAS COMO INDICADORES DEL PROCESO DE SENESCENCIA DE LA NARANJA (*Citrus sinensis* Osbeck) cv VALENCIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
UNIDAD AUTÓNOMA DE IZTAPALAPA

30 AGO 2017

COORDINADOR

En la Ciudad de México, se presentaron a las 10:00 horas del día 29 del mes de agosto del año 2017 en la Unidad Iztapalapa de la Universidad Autónoma Metropolitana, los suscritos miembros del jurado:

DR. FERNANDO DIAZ DE LEON SANCHEZ
DR. FERNANDO RIVERA CABRERA
DRA. ANGELICA ROMAN GUERRERO
DR. HECTOR BERNARDO ESCALONA BUENDIA



Bajo la Presidencia del primero y con carácter de Secretario el último, se reunieron para proceder al Examen de Grado cuya denominación aparece al margen, para la obtención del grado de:

MAESTRA EN BIOTECNOLOGIA
DE: CLARA CERVANTES ARISTA

y de acuerdo con el artículo 78 fracción III del Reglamento de Estudios Superiores de la Universidad Autónoma Metropolitana, los miembros del jurado resolvieron:

APROBAR

Acto continuo, el presidente del jurado comunicó a la interesada el resultado de la evaluación y, en caso aprobatorio, le fue tomada la protesta.

REVISÓ
LIC. JULIO CESAR DE LARA ISASSI
DIRECTOR DE SISTEMAS ESCOLARES

DIRECTORA DE LA DIVISIÓN DE CBS
DRA. EDITH PONCE ALQUICIRA

PRESIDENTE
DR. FERNANDO DIAZ DE LEON SANCHEZ

VOCAL
DR. FERNANDO RIVERA CABRERA

VOCAL
DRA. ANGELICA ROMAN GUERRERO

SECRETARIO
DR. HECTOR BERNARDO ESCALONA BUENDIA

Agradecimientos

*D o y
gracias a la esencia
que marco este camino y
mantuvo en pie cada uno
de mis pensamientos*

*Agradezco
a mis padres por estar siempre a
mi lado apoyándome en cada paso que
 doy en este camino que se llama vida.*

*Agradezco
a mis hermanas y hermanos por
ser fuentes de inspiración y admiración.*

*Agradezco
a mis amigos por escucharme en esos
momentos no tan fáciles en esta trayectoria.*

*Agradezco
a mi directora por siempre tener el
tiempo y la dedicación para dirigirme así como
sus enseñanzas para siempre estar creciendo.*

*Agradezco
a mis asesores por su constante
interés y colaboración.*

*Agradezco
a las personitas que colaboraron y
me brindaron su apoyo durante estos dos
años de trabajo: Dagoberto, Mariel, Omar,
Denise, Hidai, Rocío, Mauricio, Alberto y los
integrantes de mi panel sensorial.*

*Agradezco
al Consejo Nacional de Ciencia y
Tecnología por otorgarme la beca para
realizar este posgrado.*

*C a d a
parte de este trabajo
fue realizada con la
dirección, asesora y apoyo de
todas esas personas que
confiaron en lo que hoy se
c u l m i n a .*

Dedicatorias

A todos los que piensan diferente

*¿Cómo podía saberlo? ¿Cómo podía comprobarlo?
Cualquier estudiante puede hacer experimentos durante su
clase de física y comprobar si determinada hipótesis
científica es cierta. Pero el hombre, dado que sólo vive
una vida, nunca tiene la posibilidad de comprobar una
hipótesis mediante un experimento y por eso nunca llega a
saber si debía haber seguido sus sentimientos o no.*

Milan Kundera

Tabla de contenido

1. RESUMEN	1
I. ABSTRACT	4
2. INTRODUCCIÓN	7
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	9
3.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS	9
3.2 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA	9
3.3 IMPORTANCIA ECONÓMICA DE LA PRODUCCIÓN DE NARANJA A NIVEL INTERNACIONAL Y NACIONAL	10
3.4 ANATOMÍA DE LA NARANJA Y CÉLULA DEL JUGO	10
3.5 ASPECTOS GENERALES SOBRE LA CALIDAD DE LA NARANJA	12
3.6 IMPORTANCIA DEL AROMA EN NARANJA.....	17
3.7 COMPUESTOS VOLÁTILES RESPONSABLES DEL AROMA EN LA NARANJA	17
3.7.1 <i>Compuestos volátiles presentes en el aceite esencial</i>	18
3.7.2 <i>Compuestos volátiles presentes en jugo</i>	19
3.8 COMPUESTOS VOLÁTILES QUE AFECTAN LA CALIDAD DEL JUGO DE NARANJA	25
3.9 ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN LA NARANJA	26
3.9.1 <i>Clasificación de las propiedades mecánicas</i>	27
3.9.2 <i>Propiedades mecánicas como indicadores de la calidad de los frutos</i>	29
3.10 EVALUACIÓN SENSORIAL.....	30
3.10.1 <i>Importancia de la evaluación sensorial en alimentos frescos</i>	30
3.10.2 <i>Aspectos evaluados en las frutas</i>	31
3.10.3 <i>Evaluación sensorial en cítricos</i>	31
4. JUSTIFICACIÓN	33
5. HIPÓTESIS	35
6. OBJETIVO GENERAL	35
6.1 OBJETIVOS PARTICULARES.....	35
7. DISEÑO DE EXPERIMENTOS	36
8. METODOLOGÍAS	41
8.1 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD ESTABLECIDOS EN LA NORMA	41
8.1.1 <i>Determinación de sólidos solubles totales</i>	41
8.1.2 <i>Determinación de acidez titulable</i>	41
8.1.3 <i>Determinación del índice de madurez</i>	42
8.2 EVALUACIÓN DE COMPUESTOS VOLÁTILES EN JUGO.....	42
8.2.1 <i>Obtención y preparación del jugo de naranja</i>	42
8.2.2 <i>Identificación y cuantificación de compuestos volátiles por cromatografía de gases</i>	43
8.2.3 <i>Procedimiento para la construcción de la curva patrón</i>	43
8.3 DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS.....	44
8.3.1 <i>Análisis de color</i>	44
8.3.2 <i>Determinación de pérdida de peso por efecto del proceso de transpiración</i>	45
8.3.3 <i>Determinación de la firmeza</i>	45
8.3.4 <i>Espesor de cáscara</i>	45

8.4 ANÁLISIS SENSORIAL	46
8.4.1 Experimento I	46
8.4.2 Experimento II	47
9. RESULTADOS	49
9.1 EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA TEMPERATURA Y TIEMPO DE ALMACENAMIENTO EN LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y FÍSICOS	49
9.1.1 Parámetros fisicoquímicos	49
9.1.2 Parámetros físicos	60
9.2 COMPUESTOS VOLÁTILES	63
9.2.2 Limoneno	65
9.2.3 Linalool	67
9.2.4 Alfa-terpineol	68
9.3 REGRESIÓN	69
9.4 ANÁLISIS SENSORIAL	72
9.5 CORRELACIONES	78
10. CONCLUSIONES	80
11. PERSPECTIVAS	82
12. BIBLIOGRAFÍA	83
13. ANEXOS	90
ANEXO A. CURVAS ESTÁNDAR	90
Anexo 1. Butanoato de etilo	90
Anexo 2. Limoneno	90
ANEXO B. CROMATOGRAMA DE LOS COMPUESTOS IDENTIFICADOS POR TIEMPO DE RETENCIÓN EN JUGO DE NARANJA 'VALENCIA'.	91
ANEXO C. IMÁGENES DE MUESTRAS DE NARANJA QUE MANIFESTARON DAÑO POR MICROORGANISMOS DURANTE SU ALMACENAMIENTO COMPARADAS CON LO REPORTADO EN LA LITERATURA.	92
.....	92
ANEXO D. CUESTIONARIOS APLICADOS EN LAS PRUEBAS SENSORIALES	93
Anexo D. I. Cuestionario aplicado en el experimento I	93
Anexo D. II. Cuestionario aplicado en el experimento II	95

Índice de cuadros

<i>Cuadro 1. Clasificación de los cítricos Codex Alimentarius.....</i>	<i>15</i>
<i>Cuadro 2. Términos generales en la norma mexicana de la naranja.</i>	<i>16</i>
<i>Cuadro 3. Clasificación de la naranja de acuerdo con la norma mexicana 027.</i>	<i>16</i>
<i>Cuadro 4. Aldehídos reportados con actividad odorífera en naranja.</i>	<i>20</i>
<i>Cuadro 5. Ésteres reportados con actividad odorífera en jugo de naranja.....</i>	<i>22</i>
<i>Cuadro 6. Terpenos hidrocarbonados con actividad odorífera reportados en jugo de naranja fresca.</i>	<i>23</i>
<i>Cuadro 7. Alcoholes, cetonas, lactonas y norisoprenoides con actividad odorífera en jugo de naranja fresco y comercial </i>	<i>24</i>
<i>Cuadro 8. Conceptos de propiedades mecánicas.</i>	<i>28</i>
<i>Cuadro 9. Clasificación de las pruebas sensoriales </i>	<i>31</i>
<i>Cuadro 10. Parámetros analizados en naranja Valencia experimento I.</i>	<i>38</i>
<i>Cuadro 11. Parámetros analizados en naranja Valencia experimento II.</i>	<i>40</i>
<i>Cuadro 12. Componentes del jugo modelo de naranja para la curva de calibración.</i>	<i>44</i>
<i>Cuadro 13. Comparación de parámetros fisicoquímicos entre experimentos.....</i>	<i>55</i>
<i>Cuadro 14. Comparación de parámetros fisicoquímicos entre tratamientos (Experimento I).....</i>	<i>55</i>
<i>Cuadro 15. Comparación de parámetros fisicoquímicos entre tratamientos (Experimento II).....</i>	<i>55</i>
<i>Cuadro 16. Parámetros fisicoquímicos evaluados a 22°C durante el almacenamiento de naranja Valencia (Experimento I).....</i>	<i>56</i>
<i>Cuadro 17. Parámetros fisicoquímicos evaluados a 11 °C durante el almacenamiento de naranja Valencia (Experimento I).....</i>	<i>57</i>
<i>Cuadro 18. Parámetros fisicoquímicos evaluados a 22 °C durante el almacenamiento de naranja Valencia (Experimento II).....</i>	<i>58</i>
<i>Cuadro 19. Parámetros fisicoquímicos evaluados a 11°C durante el almacenamiento de naranja Valencia (Experimento II).....</i>	<i>59</i>
<i>Cuadro 20. Correlaciones de los parámetros fisicoquímicos evaluados en naranja Valencia.....</i>	<i>78</i>

Índice de figuras

<i>Figura 1. Anatomía del fruto sección transversal (Ladanyia, 2010).</i>	11
<i>Figura 2. Anatomía y ubicación de las células de jugo en la naranja (Kimball, 2002).</i>	11
<i>Figura 3. Diagrama de proceso para el desarrollo del experimento I.</i>	37
<i>Figura 4. Diagrama de proceso para el desarrollo del experimento II.</i>	39
<i>Figura 5. Pérdida de peso a 11 y 22 °C durante el almacenamiento de la naranja Valencia para los experimentos I y II. DS hay diferencia significativa ($p < 0.05$) entre temperaturas. Letras iguales indican que no hay diferencia significativa entre los días evaluados y el inicial (día 4) para la temperatura correspondiente.</i>	60
<i>Figura 6. Firmeza de naranja Valencia a 11 y 22 °C durante el almacenamiento experimento, I y II. DS hay diferencia significativa ($p < 0.05$) entre temperaturas. Letras iguales indican que no hay diferencia significativa entre los días evaluados y el inicial.</i>	61
<i>Figura 7. Espesor de la cáscara a 11 y 22 °C durante el almacenamiento de naranja Valencia. DS hay diferencia significativa ($p < 0.05$) entre temperaturas. Letras iguales indican que no existe diferencia significativa entre los días evaluados.</i>	62
<i>Figura 8. Butanoato de etilo, Limoneno y Linalool en naranja Valencia durante el almacenamiento a 11 y 22°C, experimento I y II. Letras diferentes indican diferencia significativa respecto al día inicial (0) (Experimento I y II).</i>	63
<i>Figura 9. Alfa-terpineol en naranja Valencia durante el almacenamiento a 11 y 22°C, experimento I y II. Letras diferentes indican diferencia significativa respecto a día inicial (0).</i>	67
<i>Figura 10. Modelo de regresión para la variable de firmeza.</i>	69
<i>Figura 11. Modelos de regresión lineal simple para la variable de porcentaje de pérdida de peso, experimento I y II.</i>	70
<i>Figura 12. Modelo de regresión lineal simple para la variable concentración de butanoato de etilo experimento I.</i>	70
<i>Figura 13. Evaluación de atributos de sabor de naranja 'Valencia' durante el almacenamiento a 22 y 11°C.</i>	72
<i>Figura 14. Atributos asociados con la textura de naranja 'Valencia' durante el almacenamiento a 22 y 11°C, experimento I y II.</i>	74
<i>Figura 15. Evaluación sensorial del aroma de naranja 'Valencia' durante el almacenamiento a 22 y 11°C, experimento I y II.</i>	76
<i>Figura 16. Evaluación del agrado en general de naranja 'Valencia' durante el almacenamiento a 22 y 11°C, experimento I y II.</i>	77

1. Resumen

Actualmente, la evaluación de la calidad de la naranja se mide con base en diversos parámetros incluidos en normas de carácter nacional e internacional; sin embargo, éstas no contemplan características que el consumidor ha venido demandando como el aroma y la textura. Es por ello que en el presente estudio se monitorearon estas variables, aunadas a los parámetros ya reportados en las normas, con la finalidad de determinar si son indicadores útiles de la pérdida de calidad que experimenta el fruto en poscosecha.

Esta investigación evaluó la naranja variedad Valencia (*Citrus sinensis* Osbeck) procedente de Martínez de la Torre, Veracruz. Se diseñaron dos experimentos independientes, el primero se desarrolló en el mes de mayo de 2016 partiendo de naranjas almacenadas en el árbol (frutos con madurez comercial pero que se mantienen sin cosechar), las que se conservaron después de la cosecha durante 22 y 35 días. En el segundo experimento, realizado en el mes de febrero de 2017, las naranjas también se cosecharon con madurez comercial pero no fueron almacenadas en el árbol y el periodo de conservación fue de 24 y 52 días. En ambos experimentos las temperaturas de almacenamiento fueron de 22°C y 11°C y se monitorearon los parámetros establecidos en la norma NMX-FF-027-SCFI-2007: Sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT), índice de madurez (IM) y % de jugo, además de componentes del aroma (butanoato de etilo, limoneno, linalool, α -terpineol) y características físicas como el índice de color de cítricos (ICC), firmeza, porcentaje de pérdida de peso (%PP), y espesor de cáscara. De manera simultánea, en los dos experimentos se realizó una evaluación sensorial para contrastar los cambios en las variables medidas con la percepción del consumidor.

Los valores de SST, AT e IM estuvieron dentro de lo especificado en la NMX-FF-027-SCFI-2007 y se mantuvieron sin cambios durante los dos experimentos, mientras que el % de jugo sólo mostró cambios entre temperaturas y durante el almacenamiento en el primer experimento.

De los componentes que contribuyen al aroma, el butanoato de etilo y el limoneno mostraron diferencias tanto entre temperaturas como por efecto del tiempo de almacenamiento. Las concentraciones del butanoato de etilo no cambiaron cuando las muestras se almacenaron a 22°C, pero sí a 11°C, observándose una tendencia decreciente en ambos experimentos. El limoneno mostró un incremento durante el almacenamiento de las muestras en los dos experimentos. El linalool al igual que el alfa terpineol se mantuvieron sin cambios, con excepción del día 27 en las muestras a 11°C del primer experimento para el alfa-terpineol.

Respecto a las variables físicas, el ICC del flavedo no mostró diferencia por efecto de la temperatura, pero sí el correspondiente al jugo, y ambos presentaron diferencia por efecto del tiempo de almacenamiento. Los valores promedio para esta variable correspondieron a una tonalidad amarilla. En cuanto a la firmeza y la pérdida de peso, ambas variables se vieron fuertemente afectadas por la temperatura de almacenamiento. Las muestras almacenadas a 22°C fueron estadísticamente menos firmes que las conservadas a 11°C, comportamiento asociado con el % de pérdida de peso que fue cuatro veces mayor a 22°C que a 11°C. El modelamiento matemático de ambas variables permitió conocer y predecir el comportamiento de la naranja en el almacenamiento. La temperatura también influye de forma considerable en el espesor de cáscara, a 22°C el espesor disminuyó, lo cual está asociado a la deshidratación del fruto.

El análisis sensorial permitió identificar que variables influyen más en el agrado por la naranja, destacando la acidez, el dulzor, la firmeza sensorial, la apariencia fresca y la percepción de notas frutales debidas al butanoato de etilo. Además, se logró establecer la relación entre variables medidas de forma analítica con atributos evaluados sensorialmente.

Con el análisis de los parámetros medidos se pudo establecer una vida media para las naranjas almacenadas a 22°C de 20 a 24 días y de 45 a 50 días para las conservadas en refrigeración. Además, se pudo corroborar que el aroma y la textura (firmeza) influyen de forma importante en la percepción del consumidor.

En conclusión, la calidad de este cítrico puede ser monitoreada además de los parámetros ya establecido en norma, a través de la cuantificación de volátiles como el limoneno y el butanoato de etilo, así como por los cambios que presenta en sus propiedades de textura y pérdida de peso.

I. Abstract

At present, quality assessment in orange fruits takes into consideration various parameters stipulated by both national and international standards; these however do not include characteristics that are becoming increasingly important to consumers such as aroma and texture. The present study, therefore, aims to monitor the aforementioned variables together with the others included in the two types of quality assessment standards in order to determine their usefulness as postharvest indicators of quality loss in these fruits.

This research focused on Valencia oranges (*Citrus sinensis* Osbeck) from Martínez de la Torre, Veracruz, Mexico and consisted of two separate experiments. The first one was conducted in May 2016 using tree-stored fruit (i.e. fruit of commercial maturity left on trees) that were maintained for an additional 22 or 35 days after harvest. The second experiment was conducted in February 2017 with fruits that were harvested at commercial maturity but were not tree-stored and were preserved for an additional 24 or 52 days. The storage temperatures used in both experiments were 22 °C and 11 °C, and the parameters established in the Mexican standard NMX-FF-027-SCFI-2007 were monitored; these included: total soluble solids (TSS), titratable acidity (TA), maturity index (MI) and % juice yield. Additionally, several aroma components (ethyl butanoate, limonene, linalool, α -terpineol) were also monitored as were physical characteristics such as the citrus color index (CCI), firmness, percent weight loss (% WL), and rind thickness. Simultaneously, a sensory evaluation was carried out at the end of each experiment in order to compare any changes in the measured variables with consumer perception.

The values determined for TSS, TA and MI were within the limits specified by the NMX-FF-027-SCFI-2007 standard and remained unchanged over the course of the two experiments. On the other hand, the % juice yield was only affected by temperature and the length of storage during the first experiment.

Of the components that contribute to the aroma profile in oranges, only ethyl butanoate and limonene showed any differences either as a function of temperature or of storage time. For

example, the concentrations of ethyl butanoate did not change when samples were stored at 22 °C, but did so at 11 °C - with a trend toward lower concentrations being observed in both experiments over the course of storage at this temperature. Conversely, the concentrations of limonene increased during storage in both experiments. Lastly, the concentrations of linalool and α -terpineol remained largely unchanged except for those of α -terpineol at day 27 in samples stored at 11 °C during the first experiment.

As for the physical variables that were examined, there was no apparent change in the CCI of the fruits' flavedo as a consequence of storage temperature; however this was not the case for the CCI of the juice, which was found to be affected by temperature. Nevertheless, the CCI of both flavedo and juice were influenced by the length of storage, with average values corresponding to yellow tonalities. On the other hand, both firmness and % WL were strongly influenced by storage temperatures. Specifically, fruit stored at 22 °C were statistically less firm than those stored at 11 °C a trend most likely associated with increasing % WL, which was found to be four times greater in fruit stored at 22 °C than at 11 °C. The mathematical modeling of both variables allowed us to become familiarized with and make predictions concerning the general quality of oranges during storage. Finally, the storage temperature was also found to strongly influence rind thickness, which decreased considerably at 22 °C, most likely the result of dehydration at this temperature.

In sensory evaluations, the variables found to influence consumer preference the most were perception of acidity, sweetness, firmness, freshness and the detection of fruit notes due to the presence of ethyl butanoate. In addition, it was possible to establish a relationship between analytically-measured variables and sensory-evaluated attributes.

With the analysis of all measured parameters, an average life of 20-24 days or of 45-50 days could be established for oranges stored at 22 °C and 11 °C, respectively. In addition, it was possible to confirm that both the perceived aroma and the texture (firmness) of the fruit have an important effect on consumer preference.

In conclusion, the postharvest quality of oranges can be monitored by quantifying volatiles such as limonene and ethyl butanoate, in addition to changes in fruit texture, WL, and in the rest of the parameters already established in quality standards.

2. Introducción

La naranja, rica en vitamina C y aceites esenciales, es uno de los frutos más populares en nuestro país y es el fruto fresco de mayor consumo (FAO, 2016). Se cree que llegó a América en el segundo viaje de Cristóbal Colón (SIAP, 2013).

La producción de este cítrico se destina principalmente al mercado doméstico y aproximadamente entre el 85% y 95% se vende fresco. Una pequeña parte (cerca al 1%) se destina a la obtención de jugo, el cual se comercializa en mercados nacionales.

Los cambios que afectan la calidad de los frutos fresco están relacionados con factores precosecha como: nutricionales, climáticos, problemas fitopatológicos y estado de madurez y factores poscosecha como son las condiciones de almacenamiento, principalmente la temperatura y humedad relativa además de las reacciones metabólicas, que llevan a la senescencia. Los efectos que se observan por este proceso son: descenso de acidez, vitamina C, proteínas, cambios en la firmeza, aumento de etanol y cambio de color, así como también pérdida de características sensoriales (Salvador et al., 2007).

La norma NMX-FF-027-SCFI-2007 clasifica a la naranja en tres grados de calidad: extra, primera y segunda, que depende de: la uniformidad de la madurez, coloración y tamaño, además de los defectos que presenta el fruto. A nivel internacional la comisión del Codex Alimentarius establece, en su normatividad para determinar los grados de calidad de la naranja, criterios de madurez, coloración y contenido mínimo de jugo.

Los estudios sobre los cambios de la calidad de la naranja en poscosecha son extensos, pero pocos han dirigido su atención a analizar los compuestos volátiles y las propiedades mecánicas de esta fruta como indicadores objetivos de vida útil. Estos indicadores son relevantes pues permitirán comparar de manera objetiva la eficiencia de las diferentes tecnologías orientadas a la conservación de este fruto.

La calidad de la naranja puede mantenerse durante su almacenamiento regulando tres factores: la temperatura, la humedad relativa y la composición de la atmósfera (Cásares et al., 2006). El

control de la temperatura es indispensable ya que a temperaturas bajas se retarda la pérdida de la calidad de la fruta, sin embargo, existe un límite para evitar daños por frío, fenómeno que afecta a los cítricos. La humedad relativa se relaciona de forma directa con el intercambio de agua del fruto al medio, por lo que tener una regulación adecuada permitiría conservar mayor tiempo la textura y apariencia del fruto.

La importancia de este cítrico nos lleva a reflexionar sobre el hecho de introducir en las normas de calidad, nuevos parámetros que especifiquen más allá de las características físicas y fisicoquímicas ahora contempladas (color, tamaño, ausencia de pudriciones, volumen de jugo, IM) y que atiendan a lo que el consumidor ahora demanda: gusto, aroma, textura y compuestos funcionales.

Por lo que en este trabajo se pretende determinar si el cambio en los niveles de ciertos compuestos volátiles del aroma a fresco, del aroma a envejecido, así como el cambio en resistencia a la compresión de los frutos de naranja podrán ser indicadores objetivos para evaluar su calidad comercial lo cual se correlacionara con una evaluación sensorial.

3. Revisión bibliográfica

3.1 Antecedentes históricos

El origen de los cítricos no es claro, algunos autores sugieren que la naranja dulce pudo ser originaria de la India, mientras que la naranja trifoliata y la mandarina de China. Los primeros reportes provienen de la literatura china donde se menciona que algunos cítricos eran otorgados al emperador Ta Yu como tributo. En Europa el término cítrico data de los años 310 a.C. por el padre de la botánica Teofrasto quien clasificó por primera vez las plantas de forma sistemática (Rouseff et al., 2009). En los estudios realizados por investigadores del Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias sobre el genoma de los cítricos, se encontró información valiosa sobre los antecesores de los cítricos actuales, dando a conocer el árbol genealógico, en el cual se muestran las cruces que han dado lugar a la formación de mandarinas modernas, limón, pomelo toronja y naranja, entre otras (Wu et al., 2014).

Otros autores reportan que el naranjo dulce es originario del sur de China, Birmania y Vietnam, y que su introducción a Europa fue a través de viajeros portugueses que lo transportaban desde la India. Se piensa que su expansión se dió desde el Mediterráneo a la mayoría de países alrededor del mundo con clima tropical y subtropical. Se dice que la introducción a América fue en el segundo viaje de Cristóbal Colón en el año 1493, en la isla de Santo Domingo (Geilfus, 1994).

3.2 Descripción botánica

Los cítricos son miembros de la familia Rutaceae con más de 1500 especies, pertenecen al orden Geraniales, sub-familia Aurantiaideae, se caracterizan por producir muchas esencias en las hojas, la corteza, las flores y en sus frutos (Enríquez, 1994).

3.3 Importancia económica de la producción de naranja a nivel internacional y nacional

La superficie cítrica mundial reportada para el año 2013 fue de 8.3 mill de ha, con una producción mayor a los 123 mill de ton, el 53% de esta superficie corresponde a naranjas, 23% a mandarinas, 12% a limones y 7% a toronjas. Los principales cinco países productores de cítricos son China, Brasil, Estados Unidos, México e India, aportando más del 60% de la producción mundial. México ocupa el quinto lugar en la producción de naranja por debajo de Brasil, China, Estados Unidos e India (FAO, 2015). La superficie destinada para el cultivo de naranja en México se aproximó a 0.3 mill de ha (SAGARPA, 2015), siendo la producción promedio de de 4.5 mill de ton en los últimos 10 años. La mayor parte es producida en el estado de Veracruz (44.5%, Tamaulipas (14.6%) y San Luis Potosí (8.8). El consumo per cápita en 2015 ascendió a 37.1 Kg, por lo que se coloca como el fruto de mayor consumo en México. La mayor parte de la producción se destina para consumo en fresco, sin embargo, se exporta una mínima cantidad principalmente a los Estados Unidos (FAO, 2016).

3.4 Anatomía de la naranja y célula del jugo

Los cítricos surgen del crecimiento y desarrollo de un ovario que posteriormente formara un conjunto de 8 a 16 carpelos los cuales se encuentran agrupados en torno al eje floral. Los carpelos forman lóculos o segmentos donde se encuentran las semillas y los sacos de jugo (Ladanyia, 2010).

Los cítricos están constituidos por el exocarpio, también llamado flavedo que contiene los compuestos responsables del color externo del fruto y las glándulas oleíferas que contienen sesquiterpenos, cuya función es proteger al fruto de los insectos y microorganismos, el mesocarpio o albedo es la parte blanca que se encuentra debajo del flavedo. Finalmente, en el interior del fruto encontramos los gajos de fruta, separados por un tejido membranoso. Cada uno de estos gajos está constituido por un gran número de vesículas y estas a su vez por numerosas células de jugo que son de forma alargada, la mayor parte de las células las

conforman grandes vacuolas que contienen el jugo, se tiene reporte que este es de color transparente. Durante el proceso de maduración se van acumulando hidratos de carbono y agua. En las mitocondrias se lleva la síntesis del ácido cítrico que es acumulado en la vacuola durante la maduración confiriendo el gusto ácido (Kimball, 1999).

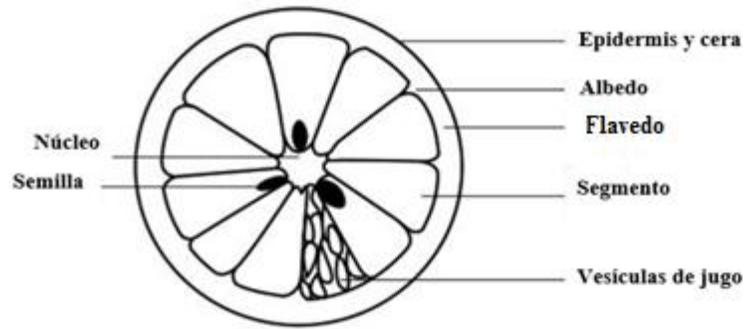


Figura 1. Anatomía del fruto sección transversal (Ladanyia, 2010).

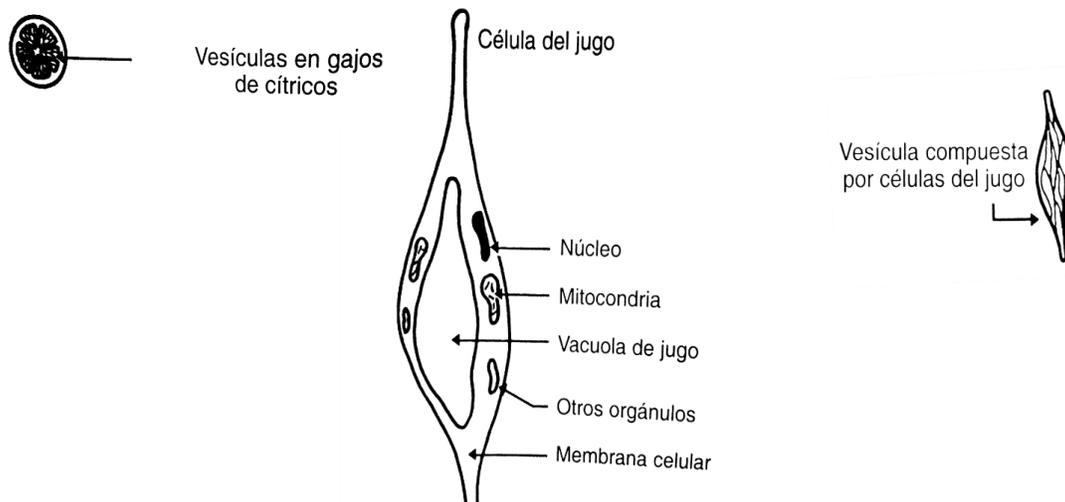


Figura 2. Anatomía y ubicación de las células de jugo en la naranja (Kimball, 2002).

3.5 Aspectos generales sobre la calidad de la naranja

La calidad de las frutas y hortalizas está determinada por diferentes variables, que pueden ser; genéticas, factores precosecha (temperatura, luz, lluvia etc), madurez relacionada con la etapa de cosecha y factores poscosecha (Kader, 2008).

Para que un fruto sea apto para el consumo humano debe poseer determinadas características fisicoquímicas que se alcanzan durante la madurez del fruto. Durante la maduración se llevan a cabo procesos como el cambio en la coloración del pericarpio, un incremento en la concentración de azúcares, una reducción de la concentración de ácidos, pérdida de firmeza y otros cambios físicos y químicos. Finalizada esta etapa el fruto inicia otra etapa denominada senescencia, en la cual el fruto sufre cambios tales como: pérdida de turgencia, incrementa su sensibilidad a las condiciones del medio ambiente y pierde control metabólico (Agustí, 2010).

Las frutas pueden clasificarse en dos grupos según su comportamiento fisiológico, se tienen los que acumulan almidón y en la etapa de maduración lo hidrolizan hasta monosacáridos; a los cuales se les denomina frutos climatérico (el término climatérico se establece para el incremento en la tasa de respiración), el segundo grupo acumula directamente monosacáridos durante su crecimiento por lo que no experimentan un aumento significativo de su tasa de respiración a los cuales se les denomina no climatéricos (Agustí, 2010) grupo al cual pertenece la naranja. Esto caracteriza la etapa de madurez y el inicio de la senescencia en los climatéricos, pero no en los no climatéricos. Por lo que es necesario establecer parámetros que ayuden a definir de una forma más precisa el punto donde se llega a una etapa de senescencia avanzada en la cual se da un decaimiento de la calidad.

Las frutas y las hortalizas están formadas por células parénquimas constituidas de vacuolas y citoplasma rodeados por la pared celular, entre otros componentes. Las vacuolas contienen todos los componentes solubles en agua como; azúcares, ácidos orgánicos, sales entre otros componentes (Perera y Smith, 2013).

Las normas donde se establecen la calidad de la naranja se contemplan los sólidos solubles totales como uno de los parámetros para definir la madurez del fruto, que es una de las

características más importantes en la evaluación de su calidad. Los azúcares representan el mayor porcentaje de los sólidos solubles totales en la naranja dulce, la otra parte la conforman los ácidos orgánicos y sus sales, aminoácidos, vitaminas solubles entre otros. La D-glucosa y la D-fructosa son los principales sustratos en el proceso de respiración de los cítricos, además de sacarosa que al hidrolizarse se obtienen los monosacáridos anteriormente mencionados, la arabinosa ha sido reportada en limas y pomelos (Ladanyia, 2010).

Otro parámetro importante es la acidez titulable que contempla la medición de los ácidos orgánicos presentes en el jugo de la fruta. Estos son el segundo componente mayoritario después de los azúcares, alrededor del 1% del peso total del jugo de fruta. Entre los más reportados en jugo está el ácido cítrico y el ácido málico. El ácido cítrico en jugos de naranja representa el 90% del total de los ácidos orgánicos presentes (Huang et al., 2009).

Además de los azúcares, y ácidos orgánicos el jugo tiene otros componentes en bajas concentraciones como: los aminoácidos, en el jugo de naranja ocupan del 0.3 al 0.4 %, estos compuestos varían dependiendo de la procedencia del jugo, en naranja el aminoácido más abundante es la prolina. También se encuentran ciertas vitaminas (vitamina C), minerales, pigmentos, compuestos fenólicos y compuestos volátiles, éstos son componentes importantes del perfil sensorial de los jugos de frutas (Huang et al., 2009). El jugo es un sistema conformado por dos fases, el suero que es la fase acuosa que contiene los componentes solubles (azúcares y ácidos orgánicos) y una segunda fase conformada por las moléculas no solubles (aceites, proteínas, organelos celulares etc.) a esta última se le denomina pulpa, a la cual se le asignan las propiedades sensoriales de color, sabor, cuerpo y aroma (Brat et al., 2003).

El color es considerado uno de los atributos de calidad más importantes, ya que es el primer contacto que tiene el consumidor con el producto (Fernández-Vázquez et al., 2011). Este parámetro también se establece en la norma mexicana como en el Codex Alimentarius para categorizar las naranjas en diferentes grados de calidad.

El color en los frutos y hortalizas se debe a diferentes pigmentos que se sintetizan durante el desarrollo y la maduración, uno de ellos es la clorofila (a y b), responsable del color verde. Conforme se va alcanzando la madurez, las clorofilas se degradan y dan paso a la síntesis de carotenoides los cuales son la base del color amarillo-naranja de algunos cítricos (Artés et al., 2002). Algunos de los carotenoides responsables del color característico de la naranja son: β -citaurina y β -citraxantina además de β -criptoxantina, luteína, anteraxantina, violaxantina entre otros (Coultate, 2009).

Se han desarrollado diferentes normas con la finalidad de estandarizar los parámetros que determinan la calidad de los productos que se ofrecen al consumidor. Debido a la importancia de los productos frescos se han establecido normas las cuales se basan en diferentes criterios para clasificarlos. Entre estas se encuentran la que expone el Codex Alimentarius, la Norma Oficial Mexicana y la Norma de Calidad Suprema.

Cuadro 1. Clasificación de los cítricos Codex Alimentarius.

Requisitos establecidos por el Codex Alimentarius	
Mínimos	De madurez
Intactos	Coloración: típica de la variedad, sin embargo, se admiten con coloración verde clara que no supere la quinta parte del fruto. Se maneja un 35% de la superficie del fruto de coloración característica.
Sanos, excluye todo producto con podredumbre, no apto para consumo	
Limpios, libre se cualquier materia extraña	
Exentos de daños por plagas	
Exentos de daños por altas o bajas temperaturas	
Exentos de toda humedad externa anormal	
Exentos de todo color o sabor extraño	
Clasificación	
Categoría Extra	Estos frutos deben de ser de calidad superior, su forma, su aspecto exterior, desarrollo y coloración deben ser característicos de la variedad.
Categoría I	Los frutos de esta categoría deben de ser de buena calidad, sin embargo, pueden presentar estos defectos:
	Defectos leves de forma
	Defectos leves de color
	Defectos leves en piel (incrustaciones, quemaduras etc)
	Defectos leves de origen mecánico (daños por granizo, manipulación etc.)
Categoría II	En esta categoría los frutos cumplen con los mínimos requisitos de la categoría I. Pueden presentar:
	Defectos de forma
	Defectos de coloración
	Piel rugosa
	Defectos de la piel durante la formación del fruto
	Defectos sanados por daño mecánico

Cuadro 2. Términos generales en la norma mexicana de la naranja.

Madurez	
El punto sazón o también llamado grado de madurez fisiológico en la naranja está determinado por:	
El contenido de jugo no debe ser menor del 40% en peso.	Relación sólidos solubles totales: acidez titulable, reportada en ácido cítrico (SST:AT), no debe ser menor de 7:1

Cuadro 3. Clasificación de la naranja de acuerdo con la norma mexicana 027.

Extra	Libres de defectos, solo defectos muy leves, uniformidad en el grado de madurez, coloración y tamaño. *Se permite una tolerancia del 5% en número o en peso (masa) de naranjas que no reúnan todos los requisitos para este grado, pero que satisfagan los del grado Primera. Para esta tolerancia del 5 % se deben excluir las especificaciones de *tamaño y **color.
Primera	Deben ser uniformes en cuanto al grado de madurez, coloración y tamaño. Pueden presentar los siguientes defectos leves, que cubran un área menor de 0.5 cm ² de la superficie total del fruto tales como raspaduras, costras, manchas, quemaduras de sol u otras que no afecten el interior del fruto, el aspecto general del producto, conservación y presentación en el envase. Esta área se verifica mediante una escala milimétrica. En cada lote o envase se permite una tolerancia de 10% en número de naranjas que no reúnan los requisitos de este grado, pero que satisfagan los del grado Segunda. En este 10% de tolerancia se deben excluir las especificaciones de *tamaño y **color.
Segunda	Deben ser uniformes en cuanto al grado de madurez, coloración y tamaño. Defectos en la cáscara debido a raspaduras, costras, manchas, quemaduras de sol u otros cuando el total del área afectada sea mayor de 0.5 cm ² . Esta área se verifica mediante una escala milimétrica. Se permite una tolerancia del 15 % en número de naranjas que no reúnan los requisitos de este grado, excluyendo totalmente las naranjas afectadas por pudrición o cualquier otro deterioro que las haga impropias para su consumo. En este 15 % de tolerancia, deben excluirse las especificaciones de *tamaño y **color.

Las tolerancias se calculan en porcentaje de unidades sobre el total de la fruta contenida en el mismo envase o lote

* El tamaño mínimo para los tres grados de calidad, en todas sus variedades es de 58 mm de diámetro ecuatorial.

**En cada lote o envase se permiten tolerancias del 10 % en número o en peso (masa) de naranjas que no cumplan con los requisitos de tamaño y tomando en consideración para este parámetro la homogeneidad en su color para los tres grados de calidad.

3.6 Importancia del aroma en naranja

Los consumidores actuales demandan productos hortofrutícolas de mayor calidad, además de los aspectos físicos y fisicoquímicos que establece la normatividad, buscan productos con características más puntuales como el aroma (Pérez-López et al., 2005).

El grado de aceptación de los alimentos por los consumidores depende de los diferentes atributos de calidad sensorial que posea: sabor, textura y aspecto visual. El sabor se percibe utilizando dos sentidos simultáneamente: el gusto asociado a las papilas gustativas en boca, y el olfato al epitelio olfatorio en las fosas nasales, donde es detectado el olor (Durán y Costell, 1999).

3.7 Compuestos volátiles responsables del aroma en la naranja

Los compuestos volátiles son moléculas cuyo peso molecular permite una fácil difusión en el aire, su punto de ebullición es bajo y tienen una elevada presión de vapor a temperatura ambiente (Bergström et al., 1994).

El perfil del aroma de la naranja lo constituyen más de 300 compuestos volátiles presentes tanto en el aceite esencial como en el jugo, cabe señalar que algunos compuestos se encuentran en ambos. Los componentes en el aceite esencial se han estudiado con detalle, sin embargo, en el jugo de la naranja aún no se tiene un panorama claro debido a su complejo perfil de aroma, que ha generado gran variación en los resultados de las investigaciones que han buscado determinar el tipo y número de compuestos volátiles presentes en el mismo. Cabe señalar que no todos los compuestos volátiles relacionados con el aroma representan una actividad odorífera importante. Se han reportado pocos resultados donde se evalúa el impacto de cada uno de los componentes identificados por en el aroma global del fruto.

Se sabe que existe diferencia entre el aroma de jugos fresco (recién extraídos) y jugos procesado como lo reporta Bylaite y Meyer (2005) cuyos resultados revelan menor número de compuestos volátiles presentes en jugos procesados en comparación con los jugos frescos, principalmente de ésteres, aldehídos y terpenos.

Debido a la importancia que se le ha dado al aroma en los alimentos se han enfocado investigaciones para conocer la relación de los compuestos presentes en estos y la aceptabilidad por el consumidor.

Entre los principales compuestos volátiles del aroma en el jugo de la naranja se reporta; acetaldehído, hexanal, octanal, decano, dodecanal y limoneno, además del etil butanoato, etil propionato, etil 2-metilbutanoato y linalool (Hinterholzer et al., 1998)

3.7.1 Compuestos volátiles presentes en el aceite esencial

El aceite esencial de los cítricos se encuentra contenido en vesículas localizadas en el flavedo (Brat et al., 2001). Se estima que el aceite esencial lo constituyen cerca de 40 componentes, entre ellos algunos de los reportados como compuestos del aroma en naranja: acetato de etilo, butirato de etilo y limoneno, linalool, entre otros. Por su parte, Sun et al. (2014) reportaron 51 componentes en el aceite esencial de la naranja agria (*Citrus máxima*) de los cuales identificaron 41 compuestos volátiles por CG-MS.

Desde hace varios años se han analizado los componentes del aceite esencial de la naranja debido a su importancia comercial, los resultados obtenidos han permitido identificar diferentes familias de compuestos como los alcoholes donde se reporta la presencia principalmente de metanol, etanol, n-propanol, isobutanol, n-butanol, isopentanol, n-hexanol, 3-hexen-1-ol, linalool, terpinen-4-ol, n-nonanol, alfa-terpeneol, n-decanol y citronelol (Attaway et al., 1964).

El limoneno es el componente predominante en el aceite esencial de la naranja (Maccarone et al., 1998; Williams y Pierce, 1998). En el estudio realizado por Njoroge et al., (2005) en diferentes variedades de naranja, se determinó que los monoterpenos dominaban la fracción volátil en naranja Valencia (94.5%), Salustiana (96.9%) y Washington navel (92.7%). Siendo el limoneno el componente más abundante representando el 92.5 %, 94.6%, 90.5% respecto a los monoterpenos totales.

Los aldehídos son los segundos componentes mayoritarios en el aceite esencial, reportándose concentraciones de 430 mg/kg (Fan et al., 2009).

De los 22 compuestos volátiles presentes en el aceite esencial reportados por Qiao et al. (2008) el linalool, α -pineno y el decanal son los que contribuyen a la mayor intensidad en el aroma. En los resultados obtenidos por Shaw (1979) el aldehído mayoritario presente en el aceite esencial fue el decanal seguido por el octanal, dodecanal, geranial y por último el neral.

3.7.2 Compuestos volátiles presentes en jugo

Se han reportado más de 300 compuestos volátiles en el jugo de naranja, sin embargo, solo 25 presentan niveles significativos de actividad odorífica en el jugo fresco. Se piensa que los compuestos volátiles en el jugo de naranja son provenientes del jugo citoplasmático el cual es liberado durante el proceso de extracción cuando las vesículas de jugo se rompen y del aceite esencial de la cáscara que migra hacia el jugo durante su proceso de extracción (Pérez-Cacho y Rouseff, 2008).

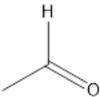
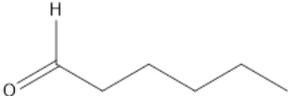
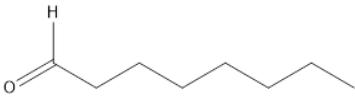
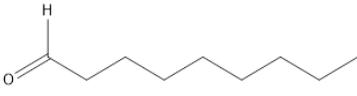
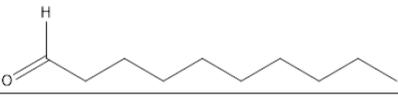
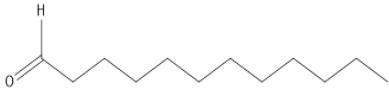
El jugo de naranja carece de componentes volátiles de impacto que determinen su aroma, ya que éste lo conforman una compleja mezcla de componentes en una variación de concentraciones y proporciones (Kanjana et al., 2005). El etil butanoato, β -mirceno, octanal, linalool y el decanal son los compuestos que contribuyen con más intensidad al aroma del jugo (Qiao et al., 2008).

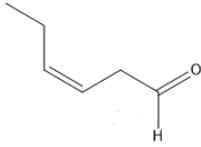
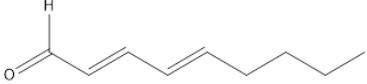
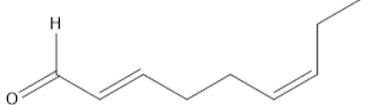
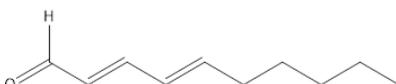
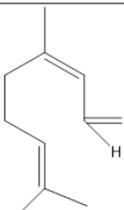
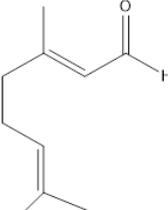
3.7.2.1 Aldehídos

Los aldehídos son metabolitos secundarios sintetizados durante la maduración de los frutos, incluida la naranja; juegan un papel importante en la calidad del aroma, sus concentraciones incrementan durante la maduración, algunos imparten notas cítricas de jugo de naranja fresco, mientras que otros tienen notas metálicas (Pérez-Cacho y Rouseff, 2008). El acetaldehído es el aldehído que se encuentra en mayor proporción en el jugo fresco de naranja, algunos investigadores reportan concentraciones de 3-7 $\mu\text{g/ml}$ y 90 $\mu\text{g/ml}$. También se ha reportado al octanal, nonanal y decanal como contribuyentes del aroma del jugo de naranja fresco (Pérez-

Cacho y Rouseff, 2008). El nonanal sólo está presente en el aceite esencial (Qiao et al., 2008). El octanal fue reportado con una concentración de 1.58 mg/L en jugo de naranja Jinchén (Qiao et al., 2010). Se tiene conocimiento de que al aumentar la temperatura ocurre un incremento en ciertos aldehídos alifáticos, entre ellos el decanal, hexanal y decanal (Pérez-Cacho y Rouseff, 2008).

Cuadro 4. Aldehídos reportados con actividad odorífera en naranja.

<i>Componente con actividad odorífera</i>	<i>Estructura química</i>	<i>Descriptor</i>
Alifáticos Saturados		
<i>Acetaldehído</i>		<i>Solvente, frutal, fresco</i>
<i>Hexanal</i>		<i>Verde, herbal, frutal, Jabonoso</i>
<i>Octanal</i>		<i>Verde, cítrico, floral,</i>
<i>Nonanal</i>		<i>Cítrico, floral, jabonoso</i>
<i>Decanal</i>		<i>Verde, cítrico, grasa</i>
<i>Dodecanal</i>		<i>Jabonoso</i>

Alifáticos Insaturados		
(Z)-Hex-3-enal		<i>Verde, herbal,</i>
(E,E)-2,4-Nonadienal		<i>Grasa, cera, jabonoso</i>
(E,Z)-2,6-Nonadienal		<i>Verde, pepino</i>
(E,E)-2,4-Decadienal		<i>Grasa, cera, verde</i>
Aldehídos terpenicos		
Neral (Z-3,7-dimetil-2,6-octadienal)		<i>Limón, cítrico, menta, té limón</i>
Geranial ((E)-3,7-dimetil-2,6-octadienal)		<i>Cítrico, verde, menta</i>

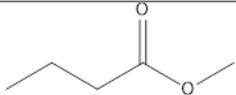
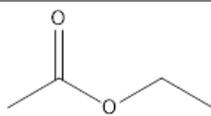
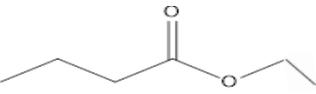
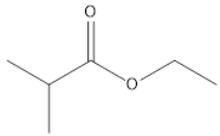
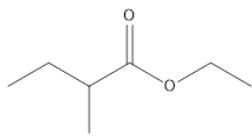
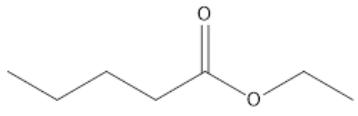
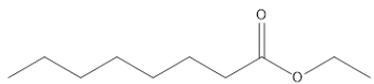
Fuente: Pérez-Cacho y Rouseff, 2008

3.7.2.2 Ésteres

Los ésteres son constituyentes importantes del aroma en algunas frutas como la naranja. Éstos son sintetizados en presencia de la Acetil-CoA en las frutas intactas, sin embargo, cuando las células de la fruta son maceradas durante el prensado, las concentraciones de algunos ésteres se reducen por la actividad de las enzimas hidrolasas (Belitz y Grosch, 2004). Entre los ésteres reportados en jugo se encuentran; el butanoato de etilo, acetato de etilo, propionato de etilo y butanoato de metilo (Qiao et al., 2008). Stangl y Ziegler (2014) reportaron una variación entre las concentraciones de los compuestos volátiles en jugos de naranja cultivar Valencia pasteurizado bajo condiciones suaves, procedentes de diferentes regiones, determinando

concentraciones de 0.8 ppm para el butanoato de etilo en jugos de naranja provenientes de México. Brat et al. (2003) determinaron que el butanoato de etilo se encuentra en concentraciones de 0.43 ppm en el jugo de naranja. Mientras que Qiao et al. (2010) reportaron concentraciones de 3.4 mg/L en jugo de naranja Jinchen almacenado por una semana a -18 °C.

Cuadro 5. Ésteres reportados con actividad odorífera en jugo de naranja.

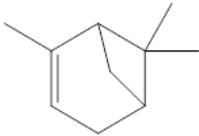
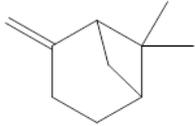
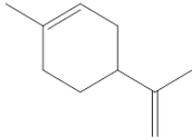
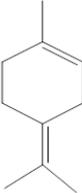
<i>Componente con actividad odorífera</i>	<i>Estructura química</i>	<i>Descriptor</i>
<i>Butanoato de metilo</i>		<i>Frutal, fresa</i>
<i>Acetato de etilo</i>		<i>Frutal, solvente</i>
<i>Butanoato de etilo</i>		<i>Frutal, piña</i>
<i>Etil-2-metilpropionato</i>		<i>Frutal</i>
<i>Etil-2-metilbutanoato</i>		<i>Frutal</i>
<i>Hexanoato de etilo</i>		<i>Frutal, naranja</i>
<i>Octanoato de etilo</i>		<i>Floral, Frutal</i>

Fuente: Pérez-Cacho y Rouseff, 2008

3.7.2.3 Terpenos

Los terpenos comprenden alrededor del 90 % del total de compuestos volátiles en los cítricos, sin embargo, tienen una actividad odorífica limitada debido a sus altos umbrales de olor, además de que pueden cambiar su configuración química por tener más de un centro quiral y por ello exhibir diferentes propiedades odoríferas. El limoneno, mirceno y β -pineno se encuentran tanto en jugo como en aceite esencial de naranja (Pérez-Cacho y Rouseff, 2008).

Cuadro 6. Terpenos hidrocarbonados con actividad odorífera reportados en jugo de naranja fresca.

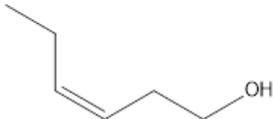
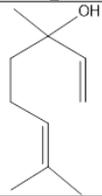
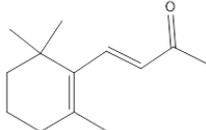
Componente con actividad odorífera	Estructura química	Descriptor
<i>α-Pineno (2-Pineno)</i>		<i>Resina, árbol de pino, etéreo</i>
<i>β-Pineno 2(10)-Pineno</i>		<i>Madera, pungente, terpenico</i>
<i>β-Mirceno(2-Metil-6-metileno-2,7-octadieno)</i>		<i>Musgo, geranio, rancio</i>
<i>Limoneno (p-Mento-1,8-dieno)</i>		<i>Menta, limón, cítrico</i>
<i>α-Terpinoleno(p-Mento-1,4(8)-dieno)</i>		<i>Verde, químico, madera</i>

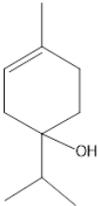
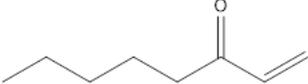
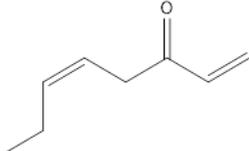
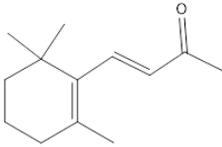
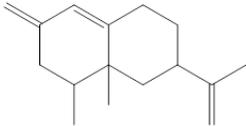
Fuente: Pérez-Cacho y Rouseff, 2008

3.7.2.4 Alcoholes

Pérez-Cacho y Rouseff, 2008 reportan la presencia de algunos alcoholes que han sido descritos como componentes importantes del aroma asociados al jugo de naranja, entre los que se encuentran: 1-octanol, β -terpineol, terpinen-4-ol, nerol, trans-carveol y el geraniol, y establecen que la posible presencia de éstos se debe a que se desarrollan durante el procesamiento del jugo. La concentración de linalool en jugo procesado de naranja se ha reportado de 0.4 ppm (Stangl y Ziegler, 2014). En su investigación, Qiao et al. (2010) reportaron en la pulpa de naranja jinchen fruit concentraciones para linalool de 0.15 mg/L.

Cuadro 7. Alcoholes, cetonas, lactonas y norisoprenoides con actividad odorífera en jugo de naranja fresco y comercial

Componente con actividad odorífera	Estructura química	Descriptor
Alcoholes alifáticos		
1-Hexanol		<i>Floral, pasto</i>
(Z)-3-Hexen-1-ol		<i>Madera, verde</i>
1-Octanol		<i>Herbal, verde</i>
Alcoholes terpenicos		
Linalool (3,7-dimetil-1,6-octadien-3-ol)		<i>Floral, dulce, frutal</i>
Geraniol ((E)-3,7-dimethyl-2,6-octadien-1-ol)		<i>Rosa, floral, cítrico, geranio</i>

<i>Terpineno-4-ol (p-Meta-4-en-1-ol)</i>		<i>Metálico</i>
<i>Cetonas alifáticas</i>		
<i>1-octen-3-ona</i>		<i>Champiñón</i>
<i>(Z)-Octa-1,5-dien-3-ona</i>		<i>Geranio</i>
<i>Cetonas terpenicas, norisoprenoides</i>		
<i>B-Ionona</i>		<i>Floral, frambuesa</i>
<i>Nootcetona (4,4^a,5,6,7,8-hexadidro-4,4-dimetil-6-(Imetiletil)-2(3H)-Neptalenona</i>		<i>Verde, pomelo</i>

Fuente: Pérez-Cacho y Rouseff, 2008

3.8 Compuestos volátiles que afectan la calidad del jugo de naranja

La importancia de ofrecer productos hortofrutícolas de calidad ha llevado a realizar investigaciones sobre los compuestos que se sintetizan durante el almacenamiento de la naranja y que son causantes de su deterioro.

El limoneno pertenece a la familia de los terpenos, éstos tienen poca influencia en el sabor de la naranja, sin embargo, son precursores de la síntesis de compuestos que generan un sabor desagradable en el jugo como el α -terpineol (Marin et al., 1992). Como ya se ha dicho el limoneno es el componente predominante en el jugo de la naranja fresca, sin embargo no juega un papel importante dentro de los componentes con una alta actividad odorífera, es más se

reporta que en concentraciones de 190 ppm tiene efectos negativos en la calidad del jugo (Fan et al. 2009). El umbral de detección del alfa-terpineol en jugo de naranja es alto, 16.6 mg/L, y según reportes para jugos procesados no se excede (Pérez-Cacho y Rouseff, 2008). En jugos frescos se han reportado concentraciones de 0.77 mg/L en naranjas jinchen fruit (Qiao et al., 2010), en naranja dulce y mandarina Satsuma se reportaron las concentraciones correspondientes 0.07 y 0.3 mg/L (Qiu y Wang, 2015).

El 4-vinilguaiacol (PVG) y otros vinil fenoles son sintetizados a partir de ácidos fenólicos, su umbral de detección es de 0.075 ppm y en combinación con el α -terpineol y 2,5-dimetil-4-hidroxi-3(2H)-furanona contribuye al sabor desagradable o sabor a viejo del jugo de naranja (Peleg et al., 1992). El medio ácido, el proceso térmico y temperaturas inadecuadas de almacenamiento constituyen las condiciones propicias para la conversión del ácido ferúlico a 4-vinilguaiacol en jugos de naranja procesados (Pérez-Cacho y Rouseff, 2008). También se ha reportado en jugos de naranja procesados y almacenados la formación de 4-hidroxy-2,5-domethyl-3(2H)-furanona y otros furanos que confieren olores desagradables y por lo tanto pérdida de la calidad (Perez-Lucas y Yaylayan, 2010).

3.9 Análisis de las propiedades mecánicas en la naranja

El interés tanto de productores, comercializadores y consumidores por la calidad de los productos hortofrutícolas se ha venido incrementando de manera significativa en los últimos años (Barreiro et al., 1995). En efecto, la exigencia que muestran los consumidores por productos que además de cumplir con los parámetros establecidos por las normas de calidad, presenten ciertas características de aroma y textura es cada vez mayor (Diezman et al., 2001).

La textura es un indicador de calidad física en los alimentos, la pérdida de la textura original se produce por migración de agua, hidrólisis enzimática, y algunos otros deterioros físicos y químicos. Esta característica a menudo se define a través de la relación fuerza/deformación cuando un alimento se somete a una determinada fuerza instrumental (Kong y Singh, 2011). La firmeza se relaciona con la turgencia y es también un reflejo de la integridad celular. El método de Magness-Taylor y la presión de esfuerzo cortante de Kramer efectúan sus

mediciones a través de la relación fuerza/deformación hasta el punto de ruptura como índice de firmeza. Sin embargo, son procesos de respuesta son lentos y no simulan correctamente la prueba de compresión. Además, se ha demostrado que la firmeza de los alimentos se mide mejor por deformaciones pequeñas. Sin embargo, existen otros métodos que dan mejores respuestas como el método de resonancia magnética, oscilación aleatoria y métodos de respuesta al impulso de ondas eléctricas o de sonido (Singhal et al., 1997).

El tamaño y la forma de las células, así como el volumen del espacio intercelular y el espesor de la pared de las células afectan las propiedades mecánicas de los tejidos de las frutas y las hortalizas (Atkins, 2009). El monitorear los cambios que presentan los frutos tanto sensoriales y fisicoquímicos como en sus propiedades mecánicas a través del tiempo puede generar información para establecer las mejores condiciones de almacenamiento, manejo poscosecha y transporte, lo que beneficia en la conservación de la calidad de los frutos.

3.9.1 Clasificación de las propiedades mecánicas

La reología es la ciencia que estudia la deformación y el flujo de los cuerpos sometidos a cargas. La mecánica estudia las fuerzas y el movimiento. Sin embargo, a las propiedades reológicas también se les denomina mecánicas. Las propiedades mecánicas están en relación con las fuerzas de compresión, que a su vez están relacionadas con las fuerzas de carga, entre las cuales se encuentran las quasi-elásticas (compresiones) y las dinámicas (impactos) (Barreiro et al., 1995).

Las propiedades reológicas se pueden clasificar en cualitativas y cuantitativas o fundamentales, las cuantitativas son utilizadas para inferir las cualitativas en tanto exista una relación entre ellas. Es importante mencionar que no todas las propiedades mecánicas son aplicables a los sistemas biológicos, por lo que solo se indican algunas.

Cuadro 8. Conceptos de propiedades mecánicas.

Propiedad mecánica/reológica	Definición
Deformación unitaria	Es el cambio de tamaño o forma de un cuerpo referido a su tamaño original
Resistencia	Tensión máxima que un material es capaz de soportar (N/mm^2); tensión de compresión, de tracción o de esfuerzo cortante
Límite elástico	Es la tensión máxima que un material puede soportar sin mostrar deformación unitaria permanente o eliminar completamente el origen de la tensión (N/mm^2)
Punto o límite de fluencia	Primera tensión de un material, menor que la máxima alcanzable, para la cual se produce un incremento de la deformación unitaria sin incremento en la tensión, se asocia con la rotura de la microestructura del material
Punto de rotura	El punto de la curva fuerza-deformación o tensión–deformación unitaria para el que se produce una rotura en la macro-estructura del material (N, m) o (N/mm^2 , m/m)
Módulo de elasticidad o módulo de Young	La relación tensión/deformación. Este límite es la tensión máxima que un cuerpo es capaz de soportar sin mostrar desviación de la proporcionalidad de la tensión respecto a la deformación unitaria
La tenacidad	Trabajo necesario para causar la rotura de un material (J)
Presión de turgencia	También denominado turgor mide el estado de hidratación de un material biológico (N/mm^2)
<i>Entre las propiedades cualitativas que son estimadas por las propiedades ya mencionadas anteriormente se encuentran:</i>	
Textura	Término usado en calidad, el cual describe la percepción en boca y las características que tienen que ver con tacto
Elasticidad	Capacidad de un cuerpo a la deformación recuperable y puede ser estimada a través del ensayo carga/descarga y cuantificarse por el grado de elasticidad

La firmeza permite determinar la consistencia de los frutos y es determinada tradicionalmente como la fuerza necesaria para deformar la superficie de un fruto con el pulgar. La firmeza es un atributo de textura importante ya que se usa como un indicador de la recolección de los productos hortofrutícolas, en la determinación de la madurez de los frutos por el método de Magness-Taylor, aplicado por más de ochenta años (Slaughter, 2009) y también para la evaluación de la calidad durante el almacenamiento. La firmeza puede determinarse por la resistencia a la rotura, el módulo de elasticidad, aunque el método normalizado es a través de

la medida de la resistencia (ensayo de penetración de Magness-Taylor) (Barreiro et al., 1995). Sin embargo, a través del tiempo y los avances de la tecnología se han desarrollado nuevos métodos que confieren mejor información sobre los cambios en la textura de los frutos además de que presentan la ventaja de no ser destructivos.

3.9.2 Propiedades mecánicas como indicadores de la calidad de los frutos

La importancia de establecer de una forma más puntual los cambios en la calidad de los productos hortofrutícolas ha impulsado a diferentes investigaciones analizar las propiedades mecánicas y su relación con los cambios presentados en los frutos desde la recolección hasta que llegan al consumidor final. Diwan y Renfu (2010) analizaron los cambios en pepino en diferentes días, por medio de un sistema de imágenes superespectrales en infrarrojo cercano. (Near-infrared hyperspectral imaging system). Singh y Reddy (2006) aplicaron en frutos de naranja en las posiciones vertical y horizontal pruebas de: compresión, resistencia a la punción y corte de la fruta a temperatura ambiente y en refrigeración. Sus resultados muestran que el fruto sufre cambios en la textura durante el almacenamiento, encontrando en los frutos almacenados a temperatura ambiente muestran un cambio mayor en comparación con las almacenadas en refrigeración. Además, reportaron que existe un cambio significativamente mayor en la firmeza cuando se evaluaron en posición vertical que horizontal. Otras investigaciones también reportan que existe un efecto de la temperatura y la humedad relativa durante el almacenamiento sobre el cambio en la firmeza de los frutos de naranja (Ortiz y Torregrosa, 2013).

Menesatti et al. (2009) compararon el método destructivo de Magness-Taylor con un modelamiento no destructivo usando un penetrómetro esto en frutas de naranja, sus factores a evaluar fueron las velocidades de penetración y la deformación, reportando que la velocidad de 30 mm s^{-1} y 3 mm de deformación presentó la mejor predicción del método de Magness Taylor.

Se estima que la naranja tiene un periodo de 84 días antes de que complete su proceso de deshidratación, este proceso se ve incrementado a través del tiempo debido a la pérdida de agua por efecto de la transpiración, observándose un cambio en las propiedades del albedo y del flavedo. Durante los primeros 10 días se tiene un incremento en la fuerza de turgencia y un decremento en la firmeza por proceso de envejecimiento normal de la naranja. Además, se sabe que el grosor de la cáscara de la naranja disminuye linealmente con el tiempo (Camarena et al., 2007)

3.10 Evaluación sensorial

3.10.1 Importancia de la evaluación sensorial en alimentos frescos

El análisis sensorial es una disciplina científica que se usa para analizar e interpretar las reacciones de una persona a los estímulos generados por los diferentes sentidos (vista, olfato, gusto, tacto, oído) cuando se degusta un alimento. Esto permite no solo conocer el agrado o desagrado del consumidor por un alimento si no también identificar y calificar una o más características de este alimento. Como se ha mencionado en el apartado anterior la calidad está basada en los requerimientos y el agrado del consumidor por el producto a consumir, en este caso las frutas. La calidad sensorial se define como el conjunto de las propiedades de un producto que actúan de estímulo de diversos receptores sensoriales del organismo que se ven afectados antes, durante y después de un eventual consumo (Echeverría et al., 2008). Se han desarrollado equipos complejos y con una gran sensibilidad que pretenden simular las percepciones sensoriales humanas, sin embargo, hasta ahora no hay equipo más eficiente que el ser humano.

Existen diferentes pruebas en el análisis sensorial, las cuales se encuentran clasificadas en el cuadro 9.

Cuadro 9. Clasificación de las pruebas sensoriales

Pruebas	Tipo de Evaluación	Aplicación
Afectivas	Aceptación y Preferencia	Estudio de preferencia
	Grado de aceptación	Estudio de aceptación
Discriminativas	Comparación apareada simple y múltiple	Entrenamiento de jueces
	Triangular	Establecer diferencias entre productos
	Dúo-Trio	Determinar la magnitud de esa diferencia
	Ordenamiento	
Descriptivas	Escala no estructurada	Selección de jueces
	Escala de intervalo	Definición de límites
	Escala estándar	Definir propiedades del alimento de forma más objetiva
	Calificación proporcional de los grados de calidad	
	Hoja de perfil	Descripción de un producto
	QDA (Análisis Descriptivo)	Comparación de productos
	Cuantitativo	Evaluación de la calidad comercial

Adaptado de Anzaldúa, 1994

3.10.2 Aspectos evaluados en las frutas

El análisis sensorial comprende un enfoque completo de los diferentes atributos en los alimentos como el sabor el cual es resultado del gusto y el olfato, la textura, la apariencia, entre otros. En algunos casos solo se evalúan determinados atributos, lo que dependerá del tipo de producto. Ahora bien, en frutas se busca analizar en conjunto estas características ya que se obtiene un mejor perfil para que el consumidor decida su preferencia. El gusto ácido y dulce, el olor característico, así como las pérdidas de aroma, firmeza y brillantez son básicamente los atributos más evaluados en frutas frescas (Harker et al., 2002; Montevecchi et al., 2013; Velkov y Pevicharova, 2016). Además de la evaluación de agrado que evalúa en conjunto al alimento y genera un concepto final de aceptación.

3.10.3 Evaluación sensorial en cítricos

Se han desarrollado investigaciones sobre los cambios en aroma y sabor en jugo de naranja procesado, pero poco se sabe sobre el jugo fresco y aun es menor la información que se tiene respecto a la evaluación de los cambios sensoriales que experimenta el jugo de naranja de la fruta fresca almacenada. En jugos procesados se han reportados compuestos que no se encuentran en el jugo de naranja fresco como el p-vinilguayacol que proporciona olores

desagradables al jugo (Klimczak and Malecka, 2011). También se tiene el furaneol, el cual se ha asociado a la pérdida del aroma característico del jugo ya que le confiere un sabor y olor a cocido (Ruiz Perez-Cacho et al., 2007).

Algunas investigaciones enfocadas a frutos frescos de cítricos son las de Obenland et al. (2009) y Obenland et al. (20011) quienes describen sensorialmente los cambios que sufre la naranja variedad Navel durante su maduración, y en su segunda investigación analizan el efecto de la temperatura y tiempo de almacenamiento sobre la calidad y aceptabilidad de dos variedades de mandarina ('Owari' y 'W. Murcott'). En naranja Valencia, Marcilla et al. (2006) evaluaron el efecto de las temperaturas de almacenamiento sobre los atributos de acidez, índice de madurez, olor característico de la naranja y olores desagradables. Pero aún la información es insuficiente para conocer de forma más precisa la relación entre los atributos sensoriales y de calidad con la aceptación del consumidor por este cítrico.

4. Justificación

Los parámetros que se utilizan actualmente para determinar la calidad comercial de la naranja tienen la limitante de evaluar solo las características físicas y algunas fisicoquímicas del fruto.

El aroma es una de las características que no se ha considerado hasta ahora para evaluar la vida útil de la naranja, sin embargo, los consumidores actualmente demandan este atributo de calidad; además, se ha reportado que existe una relación entre los cambios en algunos compuestos volátiles durante el almacenamiento y la pérdida en la calidad comercial de este fruto. Aunado a esto también se ha encontrado que durante el proceso de senescencia se presentan cambios en algunas propiedades mecánicas como la resistencia a la fuerza de compresión, la cual también muestra una relación a través del tiempo. Por lo que en el presente trabajo se busca determinar si estas características pueden ser indicadores del proceso de senescencia y por lo tanto ser considerados como parámetros objetivos para evaluar la calidad comercial de la naranja.

Preguntas de investigación

¿Los cambios en las propiedades fisicoquímicas en la naranja Valencia proporcionaran información suficiente para considerarlos como indicadores del proceso de senescencia?

¿La disminución en las concentraciones de los compuestos volátiles típicos del aroma a fresco en naranja (linalool, limoneno, butanoato de etilo) durante el almacenamiento a temperatura ambiente y de refrigeración será un indicador objetivo del proceso de senescencia?

¿El aumento del compuesto volátil asociado al aroma a envejecido en naranja (α -terpineol) durante el almacenamiento a temperatura ambiente y de refrigeración será un indicador objetivo del proceso de senescencia?

¿Existirá una relación cuantitativa entre los compuestos volátiles relacionados con el aroma a fresco y aroma envejecido que indique cuando se ha agotado la vida comercial de la naranja?

¿El modelamiento matemático de los cambios en la fuerza de compresión que experimenta la naranja durante el almacenamiento a temperatura ambiente y en refrigeración será indicativo de que se ha agotado la vida comercial de la naranja?

¿Habría una relación entre el cambio en los compuestos volátiles (típicos del aroma a fresco y ha envejecido) así como en el aumento de la fuerza de compresión y en las propiedades fisicoquímicas de la naranja Valencia respecto a su percepción sensorial?

¿Existirá una diferencia en los parámetros fisicoquímicos de naranjas cosechadas en diferentes estaciones?

5. Hipótesis

El decremento en la concentración de volátiles típicos del aroma a fresco (butanoato de etilo, limoneno y linalool) y el incremento en la concentración del compuesto asociado con aroma a viejo (α -terpineol) serán indicadores objetivos del momento en que la calidad comercial se ha agotado.

El modelamiento matemático de los cambios en la fuerza de compresión del fruto completo durante el almacenamiento proporcionará información significativa para ser usado como indicador del agotamiento de la vida comercial de la naranja.

Los cambios en el perfil completo de los compuestos volátiles estudiados en la naranja y en sus propiedades mecánicas, así como en su calidad serán percibidos por los jueces.

6. Objetivo general

Determinar si el cambio en las en las concentraciones de los compuestos volátiles asociados al aroma de la naranja, sus propiedades mecánicas y en su calidad son indicadores objetivos del proceso de senescencia evaluado sensorialmente.

6.1 Objetivos particulares

Cuantificar la concentración de compuestos típicos del aroma a fresco, a “viejo” de la naranja Valencia durante su almacenamiento a temperatura ambiente y en refrigeración.

Medir los cambios en la resistencia a la compresión de frutos enteros de naranja a través del tiempo de almacenamiento a temperatura ambiente y en refrigeración

Evaluar la percepción sensorial de la naranja a lo largo de su almacenamiento, en su aroma, propiedades mecánicas y en la calidad.

7. Diseño de experimentos

Se llevaron a cabo dos experimentos independientes, Se partió de naranjas variedad Valencia procedentes de Martínez de la Torre, Veracruz cosechadas en mayo, 2016 y febrero, 2017 respectivamente. La fruta se transportó del lugar de cosecha por la noche a la Central de Abasto de la CdMx en camiones bajo condiciones ambientales y al día siguiente por la mañana se trasladó a los laboratorios de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa (UAMI). Cabe mencionar que la naranja del primer experimento estuvo almacenada aproximadamente un mes en el árbol (práctica común por los citricultores que consiste en mantener los frutos en el árbol aún ya alcanzada la madurez comercial) esta actividad se suele realizar por falta de espacio para almacenar o por control del precio en el mercado. Para el segundo experimento la naranja de la que se partió no fue almacenada en el árbol.

Proceso de selección y desinfección

La naranja fue seleccionada de acuerdo con criterios de color, tamaño, textura en cáscara (rugosidad), ausencia de daño físico y alteraciones por microorganismos.

En el segundo experimento las naranjas fueron desinfectadas con hipoclorito de sodio a 200 ppm.

A continuación, se muestran las etapas que se realizaron en cada experimento (experimento I y II) así como las variables analizadas.

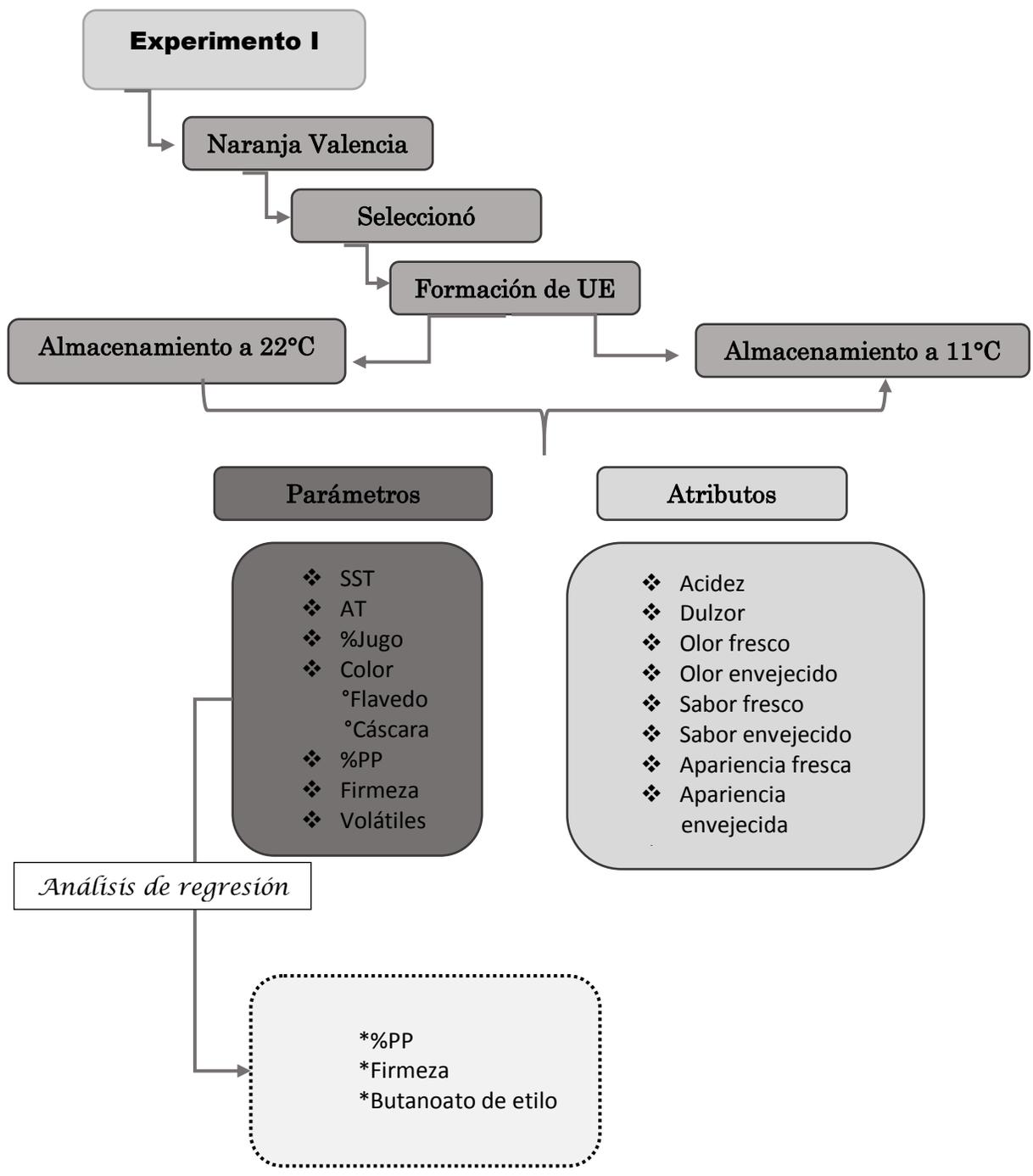


Figura 3. Diagrama de proceso para el desarrollo del experimento I.

Cuadro 10. *Parámetros analizados en naranja Valencia experimento I.*

	**Parámetros de calidad	**Propiedades mecánicas	**Compuestos volátiles	**Sensorial
Diseño	Diseño Completamente al Azar (DCA), regresión lineal simple y correlación	DCA, regresión lineal simple y correlación	DCA, regresión lineal simple y correlación	DBA y correlación Bloque=Jueces
Variables respuesta	SST, AT, Color (fruto, jugo), %PP, % Volumen de jugo	Fuerza de compresión	Concentración de limoneno y butanoato de etilo α -terpineol y linalool (áreas)	Atributos: Gusto acidez, dulzor, firmeza sensorial, olor envejecido, olor fresco, apariencia fresca y apariencia envejecida.
Variables independientes	Temperatura	Temperatura	Temperatura	Temperatura
Niveles	11°C y 22°C	11°C y 22°C	11°C y 22°C	11°C y 22°C
Repeticiones	3, %PP—6	3	3	3
No. frutas/UE	4 naranjas	4 naranjas	4 naranjas	4 naranjas
No de UE en T ambiente	30	30	30	30
No de UE en refrigeración	45	45	45	45
Total UE	75	75	75	75
No. Naranjas	348	300	300	300

Nota: Para porcentaje de pérdida de peso se utilizaron 6 UE de 4 naranjas c/u para ambos tratamientos.

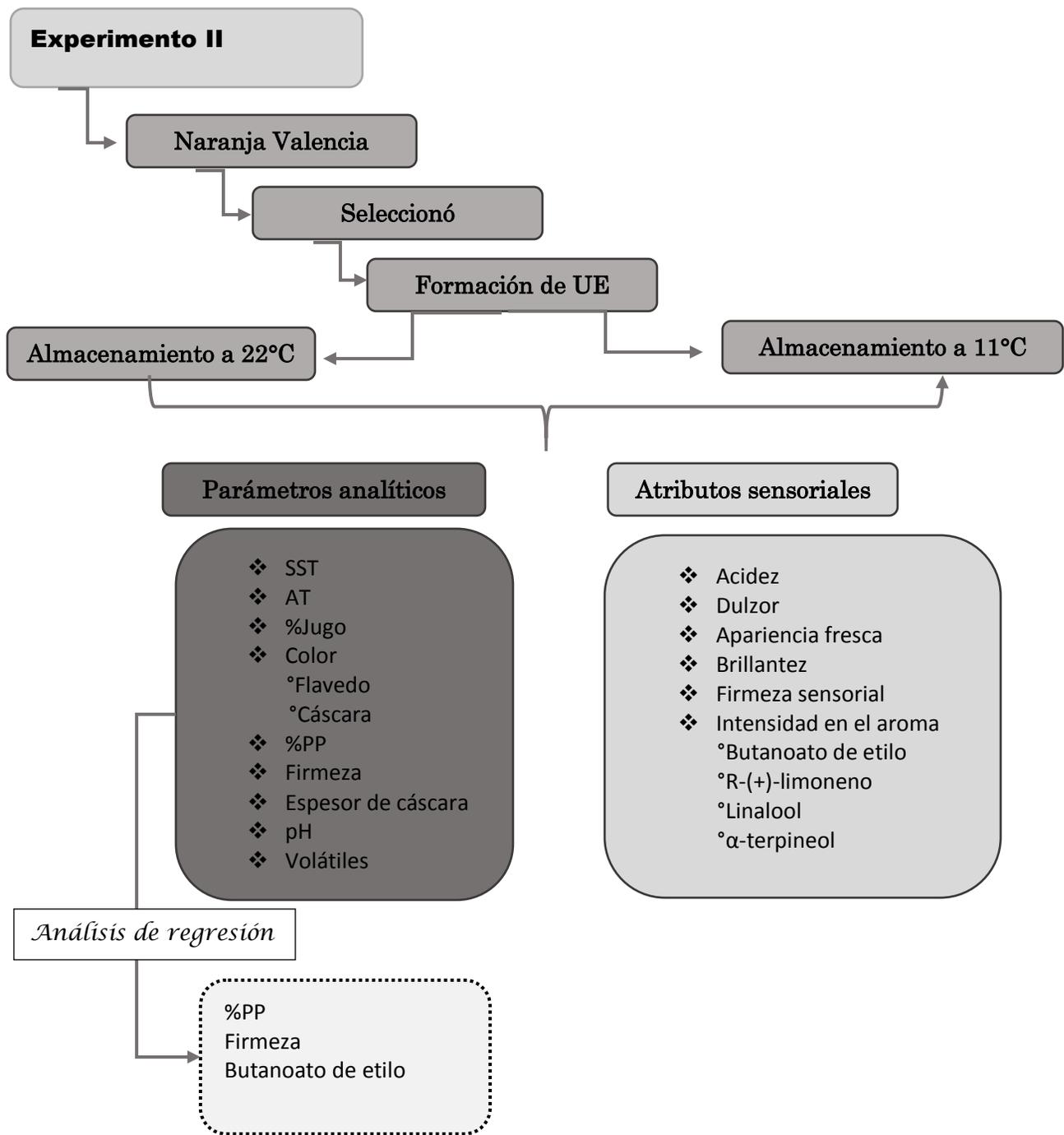


Figura 4. Diagrama de proceso para el desarrollo del experimento II.

Cuadro 11. *Parámetros analizados en naranja Valencia experimento II.*

	**Parámetros de calidad	**Propiedades mecánicas	**Compuestos volátiles	**Sensorial
Diseño	Diseño Completamente al Azar (DCA), regresión lineal simple y correlación	DCA, regresión lineal simple y correlación	DCA, regresión lineal simple y correlación	DCA y correlación B=Jueces
VARIABLES respuesta	SST, AT, Color (fruto, jugo), %PP, % Volumen de jugo	Fuerza de compresión	Concentración de limoneno y butanoato de etilo α -terpineol y linalool (áreas)	Atributos: Gusto acidez, dulzor, firmeza sensorial, olor envejecido, olor fresco, apariencia fresca y apariencia envejecida.
VARIABLES independientes	Temperatura	Temperatura	Temperatura	Temperatura
Niveles	11°C y 22°C	11°C y 22°C	11°C y 22°C	11°C y 22°C
Repeticiones	4, %PP--15	4	4	4
No. frutas/UE	3 naranjas	3 naranjas	3 naranjas	3 naranjas
No de UE en T ambiente	36	37	37	72
No de UE en refrigeración	72	72	72	144
Total UE	113 (5 UE día 0)	118 (10 UE Día 0)	118 (10 UE Día 0)	189
No. Naranjas	339+15+192=546	354	354	567

Nota: Para porcentaje de pérdida de peso se utilizaron 15 UE de 6 naranjas c/u

*Solo las variables que mostraron cambio durante el almacenamiento, se les aplicó el análisis de regresión lineal simple.

**Se llevó a cabo el mismo diseño experimental para el análisis de los parámetros fisicoquímicos, propiedades mecánicas, compuestos volátiles. Para el análisis sensorial se realizó un diseño de bloques al azar, donde se consideraron a los jueces como bloques. Cabe mencionar se partió de unidades experimentales diferentes para cada grupo de parámetros medidos.

8. Metodologías

8.1 Determinación de los parámetros de calidad establecidos en la norma

8.1.1 Determinación de sólidos solubles totales

Debido a que la concentración de carbohidratos (azúcares) es relativamente alta en los jugos de cítricos (excepto el limón), la densidad de los mismos se puede determinar mediante métodos y escalas aplicables a disoluciones puras de sacarosa (Kimball, 1999). El análisis de los SST se reporta en °Brix. Para su determinación se usó un refractómetro portátil (Erma Inc. Tokio, Japón, A-contrast 11-520-0). Para la calibración se colocó una gota de agua destilada (la escala debe indicar cero), después se colocó una gota de jugo de naranja y se tomó el valor marcado en la escala, esto se realizó para cada UE y repetición durante todo el muestreo.

8.1.2 Determinación de acidez titulable

La acidez de los jugos es el segundo factor de calidad más importante después de los SST (Kimball, 1999). Los ácidos proporcionan la característica de gusto ácido o agrio. En el jugo de los cítricos se encuentra diferentes ácidos orgánicos entre éstos el cítrico, málico y sus sales, pero el primero ocupa la mayor proporción, por lo tanto, se reporta la acidez en términos de este ácido.

Se llevó a cabo una titulación potenciométrica, para la cual se tomaron 5 mL de jugo de naranja, se agregaron 50 mL de agua destilada, se realizó la titulación con solución de NaOH 0.1 N hasta que se obtuvo un pH entre 8.1 a 8.3. Para obtener el porcentaje de acidez titulable se utilizó la ecuación 4.

$$\text{(Ecuación 4). \%Acidez Titulable (g ácido cítrico /100mLjugo)} = \left(\frac{(V_{\text{NaOH}})(N_{\text{NaOH}})(\text{g/meq. ácido})}{(V_{\text{jugo}})} \right) * 100$$

Dónde:

N_{NaOH} = normalidad (meq/mL) de NaOH

V_{NaOH} = volumen (mL) de NaOH

meq. ácido = miliequivalentes del ácido cítrico= 0.064 g/meq

V_{jugo} = volumen (mL) de la muestra de jugo

8.1.3 Determinación del índice de madurez

El índice de madurez es la relación entre los SST y la AT y representa unos de los principales indicadores para determinar la madurez en diferentes tipos de frutas. Esta relación se calculó con base a los valores de SST y AT, que fueron obtenidos.

8.1.4 Evaluación de volumen de jugo

Se pesaron los frutos de cada unidad experimental posteriormente se les extrajo el jugo con un extractor eléctrico (marca TAPISA Modelo T12) y se pesó, esto se hizo con cada repetición. El porcentaje de jugo fue calculado por medio de la ecuación 3.

$$\text{(Ecuación 3). } \%Jugo = \left(\frac{P_{jugo}}{P_{fruta}} \right) * 100$$

Dónde:

P_{jugo} = Peso (g) de jugo extraído de la unidad experimental

P_{fruta} = Peso (g) de la unidad experimental

Nota: Para ambos experimentos se llevaron a cabo las mismas metodologías.

8.2 Evaluación de compuestos volátiles en jugo

8.2.1 Obtención y preparación del jugo de naranja

Para la obtención del jugo se utilizó un Extractor Eléctrico (marca TAPISA Modelo T12), se colocaron 10 mL del jugo extraído en un vial (esto para cada muestreo) se le adiciono 1 mL de solución alcalina de EDTA (NaOH 1.66M, EDTA 0.55M) hasta llegar a una concentración de EDTA de 0.05M y un pH aproximadamente de 9 en la solución final, se agito de inmediato de forma manual. Posteriormente se congelaron con nitrógeno líquido y se almacenaron a -70°C hasta su análisis.

Nota: en el segundo experimento se adicionaron 2 ml de solución de EDTA para alcanzar el pH de 9.

*La estabilización con la solución alcalina de EDTA se realiza para evitar la degradación de los compuestos volátiles en el jugo por acción enzimática.

8.2.2 Identificación y cuantificación de compuestos volátiles por cromatografía de gases

Para la identificación y cuantificación se utilizó la técnica de microextracción en fase sólida (SPME, por sus siglas en inglés, Solid Phase Microextraction). En un vial de 10 mL, se colocaron 1.2 g de cloruro de sodio (NaCl) y 3 mL de jugo posteriormente se sellaron y agitaron en vórtex por 1 min. Se colocaron en un termoblock a 30°C durante 10 min para adsorber los compuestos volátiles del espacio de cabeza utilizando una fibra triple (Divinilbenceno/Carboxen/Polidimetil-siloxano 50/30 μm). Posteriormente se desorbieron durante 10 min a 250°C en el puerto de inyección (modo splitless) en un cromatógrafo de gases (Hewlett Packard 5890 serie II).

Condiciones cromatográficas

Se trabajó el cromatógrafo con un detector de ionización de flama (FID), una columna capilar: Agilent DB-Waxetr (60 m X 0.32 mm D.I., 1 μm de espesor, fase estacionaria, J&W Scientific, Folson, CA), como gas acarreador H_2 con un flujo 3 mL/min. La temperatura del inyector y del detector se estableció en 250 °C, la rampa de temperaturas: inicial 60 °C por 5min con incrementos de 5 °C/min hasta 230 °C por 7 min. El tiempo de corrida fue de 46 min.

8.2.3 Procedimiento para la construcción de la curva patrón

Para la construcción de las curvas patrón de cada compuesto a analizar (limoneno, butanoato de etilo, linalool, α - terpineol) se utilizó la matriz de jugo de naranja modelo, siguiendo la formulación de (Peleg et al. 1992), con algunas modificaciones (Cuadro 12).

Cuadro 12. Componentes del jugo modelo de naranja para la curva de calibración.

Componente	% p/v
Agua desionizada	87.74
Sacarosa	5.0
Glucosa	2.5
Fructosa	2.5
Ácido cítrico	1.2
Citrato de sodio	0.6
Prolina	0.3
Arginina	0.1
Ácido ascórbico	0.06

Con el jugo modelo y los estándares comerciales (Sigma-Aldrich) se construyeron las curvas patrón para limoneno y butanoato de etilo, la metodología para su análisis fue la misma con la que se analizaron las muestras (apartado 7.2.2).

Nota: Para ambos experimentos se llevaron a cabo las mismas metodologías.

8.3 Determinación de propiedades físicas

8.3.1 Análisis de color

Para la evaluación de color se utilizó un colorímetro Hunter-Lab (modelo ColorFlex), la medición fue puntual sobre tres puntos diferentes en el flavedo de la naranja, esto se hizo para todas las naranjas de cada unidad experimental. Se obtuvieron resultados para los parámetros L^* , a^* y b^* correspondientes a la escala CIE. Finalmente se calculó el índice de color de cítricos (ICC) (Ecuación 1)

$$\text{(Ecuación 1)} \quad ICC = \frac{1000 \cdot a^*}{L^* \cdot b^*}$$

Para la evaluación del color del jugo se midieron los mismos parámetros antes mencionados, pero sobre una muestra de jugo, la cual fue colocada sobre una celda especial para líquidos.

8.3.2 Determinación de pérdida de peso por efecto del proceso de transpiración

Para determinar el porcentaje de peso perdido por efecto del proceso de transpiración, se pesaron los frutos correspondientes a 1 UE al inicio del muestreo y así durante todo el almacenamiento esto se realizó para todas las repeticiones. El % PP se determinó con la ecuación 2.

$$\text{(Ecuación 2). \%PP} = \left(1 - \frac{P_n}{P_i}\right) * 100$$

Dónde:

%PP = porcentaje de pérdida de peso

P_n = peso (g) de los frutos a los “n” días de almacenamiento

P_i = peso (g) inicial de los frutos.

8.3.3 Determinación de la firmeza

Esta prueba se llevó a cabo por medio de un analizador de textura TA.XT PLUS, las mediciones se realizaron para todas las naranjas de cada unidad experimental, para esto se colocó cada naranja en la base del texturómetro sobre su eje ecuatorial. Las condiciones que se controlaron en el equipo fue la velocidad a la que se llevó la aplicación de la fuerza de compresión que fue de 1mm/s y esto para comprimir la fruta 5mm. Los resultados se reportaron en Newtons.

Nota: Para ambos experimentos se llevaron a cabo las mismas metodologías.

8.3.4 Espesor de cáscara

Para la medición del espesor de cáscara se usó un vernier y se expresaron los resultados en mm.

Nota: esta determinación se realizó sólo en el segundo experimento.

8.4 Análisis sensorial

8.4.1 Experimento I

Las pruebas sensoriales se hicieron coincidir con los días en que se realizaron las pruebas analíticas, con la finalidad de poder comparar los resultados de ambas determinaciones.

El panel de jueces estuvo constituido por miembros de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa. Se trabajó con 17 jueces con experiencia en la evaluación sensorial de frutos frescos para ambos experimentos.

En el análisis sensorial se evaluaron los siguientes atributos: olor a fresco, olor a envejecido, apariencia fresca, apariencia envejecida, gusto dulce, gusto acidez, sabor fresco, sabor a envejecido y firmeza sensorial; para ello se aplicó la prueba JAR (Just About Right) o también llamada Justo lo que esperaba, utilizándose una escala no estructurada o de línea. El principio de esta escala es el manejo de una línea recta con magnitud conocida, en este caso fue de 15 cm. Para esta escala se manejaron tres puntos indicativos: dos extremos, el cero que representa menos de lo que esperaba y el 15 que es igual a más de lo que esperaba y el punto intermedio que representa justo como lo esperaba. Se utilizó una línea recta (escala) para cada uno de los atributos evaluados. Se les pidió a los integrantes del panel de jueces que evaluaran los atributos ya mencionados colocando una línea perpendicular a la línea de calificaciones entre 0 y 15 de acuerdo con su concepción de su naranja ideal. Para la evaluación de gusto dulce, gusto acidez, sabor fresco y sabor a envejecido se proporcionó un fragmento de naranja para que lo probaran, los demás atributos se realizaron sobre la naranja completa.

También se evaluó el agrado en general, para lo cual se le pidió al panel de jueces que al calificar consideraran los atributos de sabor, olor y textura. La escala que se usó fue la misma que para la prueba JAR, solo se realizó un cambio en las leyendas, donde cero indicaba extremadamente desagradable y 15 extremadamente agradable y para valores de 7.5 ni me agrada ni me desagrada.

8.4.2 Experimento II

De acuerdo con los resultados obtenidos en el primer experimento se decidió realizar pruebas más específicas, así como la medición de nuevas variables para así obtener información más puntual sobre los cambios que presenta la naranja y que son detectados sensorialmente.

En este segundo experimento el panel de jueces estuvo constituido por participantes del primer experimento, este grupo constó de 13 jueces semientrenados en la evaluación de naranja. Se llevó a cabo la metodología basada en el Análisis Descriptivo Cuantitativo citada por de León-Sánchez et al., 2009 sobre evaluación sensorial de jitomate. Esta metodología consistió en: la generación de descriptores mediante la identificación de estándares y se establecieron definiciones para cada descriptor, se realizó un consenso para la validación y homogenización de los conceptos de cada descriptor, se identificaron cualitativamente los descriptores sensoriales para los frutos de naranja y finalmente se realizaron prácticas de evaluación cuantitativa mediante una simulación de la metodología del experimento con naranja almacenada.

Para el análisis de volátiles se desarrollaron tres pruebas.

La primera fue una prueba de diferenciación Dúo-Trio la cual tiene como objetivo determinar si dos muestras son diferentes al comparar con una referencia (muestra igual a una de las muestras). Al aplicar la prueba se evaluó el aroma del jugo a la temperatura en que se encontraban almacenadas las frutas. Se manejaron dos códigos, 380 para el jugo que se obtuvo de la naranja almacenada a 11°C, y 924 correspondiente a la almacenada a 22°C.

Como segunda prueba se pidió evaluar si los compuestos alfa-terpineol, furaneol, limoneno, linalool y butanoato de etilo eran detectables en las muestras, y si se encontraban en ambas, determinar en cual se percibían con mayor intensidad. Para ello se les presentaron soluciones de los compuestos estándar de concentración conocida a evaluar en las muestras.

Como última prueba se pidió que evaluaran la intensidad a través de la escala no estructurada, donde sus extremos describían una intensidad de 0 a 15. Esta última fue aplicada también para los atributos de firmeza, brillantez, apariencia fresca, dulzor y acidez.

Y para el agrado se evaluó con la misma escala que en el experimento I, la cual se menciona en el mismo apartado.

9. Resultados

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con un $\alpha=0.5$, para la comparación de medias se aplicó la prueba de LSD por sus siglas en inglés (Least Significant Difference) a través del software Statgraphics Centurion XV.II. El análisis de correlaciones y regresión se realizó con el mismo paquete estadístico.

9.1 Evaluación del efecto de la temperatura y tiempo de almacenamiento en los parámetros fisicoquímicos y físicos

Para este trabajo se realizaron dos experimentos independientes, en el primer experimento se trabajó con naranja que había sido almacenada en el árbol (práctica común entre los citricultores para conseguir mejores precios en los mercados o debido a la falta de espacio en los almacenes). Con base en los resultados obtenidos, se realizó un segundo experimento con naranja que no fue almacenada en el árbol y en el cual se modificaron factores que nos permitieran conocer mejor el comportamiento de los parámetros medidos, se amplió el tiempo de almacenamiento para así observar los cambios en un tiempo más prolongado.

Para conocer en qué tiempo la fruta llega a una etapa de senescencia avanzada tal que pierde su calidad comercial se comparó el valor del parámetro medido en cada día de almacenamiento con el valor inicial.

9.1.1 Parámetros fisicoquímicos

Se realizó una comparación de las muestras de ambos experimentos al día inicial (cuadro 13) donde se determinaron diferencias significativas ($p<0.05$) entre los SST, AT, IM, ICC flavedo y jugo. Se observó que para el experimento I el IM fue significativamente mayor debido a los valores altos de SST y bajos de AT. El porcentaje de jugo y la firmeza no presentaron diferencias entre los dos experimentos. Esta comparación nos permitió conocer la variabilidad que presentan los frutos de naranja que son cosechados en diferentes estaciones del año. Las

diferencias entre los parámetros de ambos experimentos pueden atribuirse a diferentes factores como: la temperatura, las horas luz, la precipitación, el suelo e incluso la ubicación del fruto en el árbol.

9.1.1.1 Sólidos solubles totales

En el primer experimento al igual que en el segundo, no se encontró diferencia significativa ($p < 0.05$) por efecto de la temperatura ni del tiempo de almacenamiento en esta variable (Cuadros 14 a 19). Estos resultados están acordes con lo reportado por Obenland et al. (2008) y Macías (2015), en naranjas Navel y Valencia, respectivamente quienes no reportan cambios significativos para este parámetro. Sin embargo, algunos reportes mencionan un aumento en los SST durante el almacenamiento de este fruto (Shamloo et al., 2015; Rapisarda et al., 2001), lo cual podría ser explicado a través de dos procesos: debido a la tasa de transpiración (pérdida de agua) que concentra los SST y como lo reporta Ladanyia (2010), debido a la acción de enzimas hidrolíticas de sustancias pécticas que propician la acumulación de azúcares en las vesículas de jugo.

El comportamiento fisiológico de este fruto no es muy claro, pero se sabe que al ser un fruto no climatérico sus procesos metabólicos son relativamente lentos por lo que podría pensarse que hay una compensación entre los azúcares acumulados por acción enzimática y la catálisis de éstos durante la respiración del fruto.

Los valores promedio fueron de 14°Brix para el experimento I y 12°Brix para el experimento II, lo que muestra que se tienen valores mayores en el primer experimento (Cuadro 14 y 15) donde se partió de naranja que fue almacenada en el árbol. Papadakis et al. (2008) reportan que los SST no se ven afectados por la cosecha tardía de este cítrico por lo que de acuerdo con este autor esta diferencia de SST puede ser explicada por algún otro factor. Es importante mencionar que ambos valores se encuentran por encima del mínimo de lo que establece la norma NMX-FF-027-SCFI-2007 ($IM = SST/AT = 7:1$).

9.1.1.2 Acidez titulable

Los ácidos orgánicos son sustratos de rutas metabólicas primarias, los cuales son sintetizados a través de azúcares que provee la planta, pero cuando el fruto ha sido retirado de su fuente de nutrientes solo dispone de los que se encuentran como reserva, por lo que se esperaría observar una disminución de estas reservas durante el almacenamiento, como lo reportan algunos investigadores (Purvis, 1983; Rapisarda et al., 2001). Sin embargo, tal comportamiento no se observó en el presente estudio, al igual que lo reporta Marcilla et al. (2006) en naranja Valencia. Es importante recordar que los cítricos son frutos no climatéricos, sus procesos metabólicos son relativamente lentos, el ejemplo más claro es su tasa de respiración ($5-10 \text{ mgCO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) la cual se considera baja comparada con otros frutos (Bosquez et al., 2015). Además, la temperatura y tiempo de almacenamiento influyen considerablemente en sus procesos fisiológicos como se ha reportado, por ejemplo, temperaturas elevadas aceleran estos procesos. En este trabajo las muestras de naranja se almacenaron a 22 y 11°C por 35 y 52 días, respectivamente, y para ningún tratamiento se reportó cambio, por lo que se concluye que bajo estas condiciones no se producen cambios significativos ($p < 0.05$) sobre esta variable.

Los valores promedio obtenidos de AT fueron de 0.64 y 0.65 para el I y 0.78 en el experimento II (Cuadro 14 y 15), cercano a lo que expresa la NMX-FF-027-SCFI-2007 ($\text{IM} = \text{SST}/\text{AT} = 71$). Pero dentro de lo que reporta la norma de Calidad Suprema.

9.1.1.3 Índice de madurez

La relación de sólidos solubles totales (SST) acidez titulable (AT) conocida como índice de madurez (IM) se ha utilizado como un indicador de la madurez en diferentes frutas. Este parámetro es de gran relevancia en la naranja, ya que al determinar su madurez también se está determinando su calidad de consumo y por lo tanto la aceptación por el consumidor, debido a que este fruto no madura después de su cosecha pues se trata de un fruto no climatérico.

Los valores obtenidos de IM para el experimento I (cosecha de mayo) en comparación con los del experimento II (cosecha de febrero) fueron mayores, debido a que los SST fueron más

altos y la AT más baja (Cuadros 14 y 15) , lo que podría atribuirse a la temporada de corte, tal como lo reporta Bai et al., (2016) en investigación en naranja Valencia. Estos autores evaluaron los meses de cosecha de febrero a mayo de 2007 y 2012, y encontraron los valores de SST más altos y los de AT más bajos para el mes mayo, con un IM para ambos años por arriba de 20, lo cual es similar a lo encontrado en el presente estudio (IM=23 en el mes de mayo).

9.1.2.1 Índice de color en flavedo

En la NMX-FF-027-SCFI-2007 y en el Codex Alimentarius, se especifica que el color de las naranjas debe corresponder al color típico de cada variedad; el color también es considerado, entre otros parámetros, para la clasificación de variedades en categorías.

En el área de alimentos se han desarrollado diferentes equipos y técnicas para la evaluación del color lo que ha permitido establecer parámetros específicos para este fin. Entre los más utilizados en frutas están la luminosidad L^* que indica que tan claro u oscuro es un objeto, el parámetro a^* (- , +) verde a rojo y el b^* (- , +) azul a amarillo. Con estos parámetros considerados individualmente, se puede determinar un punto en el espacio de color y en conjunto, pueden integrarse en ecuaciones que proporcionan información sobre el grado de aceptación del color del objeto medido. El Índice de Color de Cítricos (ICC) es un caso particular para la medición del color en frutas cítricas que relaciona los parámetros cromáticos L^* , a^* y b^* mediante la ecuación $ICC = (a^* \times 100) / (L^* \times b^*)$.

Los resultados que se muestran en los cuadros 14 y 19 corresponden al ICC, y comprenden valores negativos (tonalidades verdes), cercanos a cero (tonalidad amarilla) y positivos (cuando la tonalidad cambia de amarillo a naranja).

El ICC del flavedo no se vió afectado por la temperatura de almacenamiento en ambos experimentos, pero sí mostró cambios con el tiempo. En los cuadros 16 y 17 se observa un cambio en el día 15 en las muestras almacenadas a 22°C, y en el día 29 para las que se almacenaron a 11°C; los cambios observados en los días 4 a 22°C y 22 a 11°C podrían deberse a variaciones del material biológico (Experimento I). Los resultados del segundo experimento

(Cuadros 18 y 19) confirmaron lo ya observado en el primero: los cambios comenzaron a observarse en el día 13 a 22°C y en el 24 a 11°C, y se atribuyen a la síntesis de carotenos y degradación de clorofilas a través del tiempo (Artés et al., 2002). Se identificó, por lo tanto, un período de almacenamiento en el que esta variable se modificó.

El ICC osciló entre 0.62 y 0.60 en el experimento I y entre 0.57 y 0.62 en el experimento II a 22°C y 11°C respectivamente, valores correspondientes a una tonalidad amarilla.

El ICC es frecuentemente usado como índice de cosecha, y también para seleccionar los cítricos sometidos al proceso de desverdizado (Vidal et al., 2012). La importancia del índice de color de cítricos (ICC) es que se correlaciona con la percepción que tiene el observador del color (Bello et al.).

9.1.2.2 Índice de color de Jugo

El ICC en jugo se vió afectado tanto por las temperaturas como por el tiempo de almacenamiento en los dos experimentos. En los cuadros 16 y 17 se observa que hay una variación de estos valores durante el almacenamiento para las muestras de naranja a 11 y 22°C del experimento I, con cambios más rápidos a 22°C, donde se inicia una disminución desde el día 4 mientras que las naranjas almacenadas a 11°C empezaron a mostrar cambios en el día 8. En el experimento II solo se observan diferencias a los días 6 y 17 (Cuadro 18) a 22 °C, en las almacenadas a 11°C se observó un incremento a partir del día 6 con excepción de los días 13 y 38 cuando no hubo cambios (Cuadro 19). Carmona et al. (2012) determinaron el contenido de carotenoides en el flavedo y en la pulpa de naranja Navelina almacenada a 2 y 12°C, encontrando un incremento en la concentración de C30-apocarotenoides, β-citraurina y en menor proporción en la anteraxantina en las muestras almacenadas a 12°C. Esto podría explicar el incremento del ICC ya que los principales compuestos responsables del color en naranja son carotenoides.

9.1.2.3 Porcentaje de jugo

Solo para el experimento I se observó diferencia significativa ($p < 0.05$) entre días y temperatura de almacenamiento, los cambios se observaron para los días 6, 8 y 22 a 22°C y solo a los 29 días a 11°C (Cuadros 16 y 17). Los valores obtenidos del porcentaje de jugo durante el tiempo de almacenamiento fueron mayores que lo reportado por Codex Alimentarius así como por la norma de Calidad Suprema 2005, que especifica como mínimo un 40 por ciento de jugo. Se obtuvieron valores para ambos experimentos por encima del 55 por ciento respecto a lo mencionado en la norma.

Cuadro 13. Comparación de parámetros fisicoquímicos entre experimentos.

Experimento	ICC-Flavado		ICC-Jugo		°Brix		Ac. Titulable		IM	%Jugo		Firmeza		
I	0.64 ^a	± 0.06	0.25 ^a	± 0.09	14.17 ^a	± 0.29	0.60 ^a	± 0.03	24.58 ^a	± 1.33	0.25 ^a	± 4.00	30.77 ^a	± 0.71
II	0.49 ^b	± 0.02	0.37 ^b	± 0.03	12.26 ^b	± 0.49	0.85 ^b	± 0.09	14.46 ^b	± 1.85	0.37 ^a	± 11.91	34.70 ^a	± 3.58

Los valores son el promedio de cada parámetro al día “0” de almacenamiento
 Letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0.05$) entre experimentos

Cuadro 14. Comparación de parámetros fisicoquímicos entre tratamientos (Experimento I).

Temperatura	ICC-Flavado		ICC-Jugo		°Brix		Ac. Titulable		IM	%Jugo		
22°C	0.62 ^a	± 0.07	0.25 ^a	± 0.08	14.46 ^a	± 0.38	0.64 ^a	± 0.16	23.38 ^a	± 3.73	60.95 ^a	± 1.81
11°C	0.60 ^a	± 0.05	0.38 ^b	± 0.06	14.61 ^a	± 0.49	0.65 ^a	± 0.12	23.07 ^a	± 2.99	59.80 ^b	± 1.12

Los valores son el promedio de cada parámetro durante todo el tiempo de almacenamiento en cada temperatura
 Letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0.05$) entre temperaturas

Cuadro 15. Comparación de parámetros fisicoquímicos entre tratamientos (Experimento II)

Temperatura	ICC-Flavado		ICC-Jugo		Espesor de cáscara		°Brix		Ac. Titulable		IM	%Jugo		
22°C	0.57 ^a	± 0.37	0.39 ^a	± 0.03	2.37 ^a	± 0.21	12.36 ^a	± 0.29	0.78 ^a	± 0.06	16.12 ^a	± 1.28	61.62 ^a	± 2.60
11°C	0.62 ^a	± 0.24	0.42 ^b	± 0.02	2.83 ^b	± 0.56	12.66 ^a	± 0.35	0.78 ^a	± 0.04	16.28 ^a	± 0.86	62.63 ^a	± 1.71

Los valores son el promedio de cada parámetro durante todo el tiempo de almacenamiento en cada temperatura
 Letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0.05$) entre temperaturas

Cuadro 16. Parámetros fisicoquímicos evaluados a 22°C durante el almacenamiento de naranja Valencia (Experimento I).

Días	ICC-Flavado			ICC-Jugo			°Brix		Ac. Titulable			IM		%Jugo				
0	0.52 ^a	±	0.05	0.41 ^a	±	0.06	14.2 ^a	±	0.29	±	0.06	±	0.67	58.05 ^a	±	1.89		
4	0.64 ^a	±	0.06	0.25 ^b	±	0.08	14.7 ^a	±	0.58	0.60 ^a	±	0.04	24.54 ^a	±	1.33	58.07 ^a	±	3.26
6	0.58 ^a	±	0.06	0.11 ^b	±	0.11	14.1 ^a	±	0.23	0.60 ^a	±	0.06	23.65 ^a	±	2.52	62.29 ^b	±	1.11
8	0.55 ^a	±	0.02	0.27 ^b	±	0.06	14.0 ^a	±	0.45	0.59 ^a	±	0.05	23.54 ^a	±	2.64	61.86 ^b	±	0.53
11	0.58 ^a	±	0.1	0.26 ^b	±	0.00	14.2 ^a	±	0.58	0.54 ^a	±	0.03	26.13 ^a	±	0.35	61.3 ^a	±	0.70
13	0.58 ^a	±	0.11	0.18 ^b	±	0.05	14.5 ^a	±	0.84	0.61 ^a	±	0.00	23.64 ^a	±	1.36	62.53 ^a	±	0.14
15	0.73 ^a	±	0.06	0.23 ^b	±	0.06	15.1 ^a	±	0.42	0.59 ^a	±	0.10	25.69 ^a	±	5.76	60.59 ^a	±	2.01
18	0.69 ^a	±	0.04	0.26 ^b	±	0.02	14.3 ^a	±	0.42	0.60 ^a	±	0.09	23.98 ^a	±	3.65	60.24 ^a	±	1.20
20	0.65 ^a	±	0.05	0.24 ^b	±	0.03	14.6 ^a	±	0.17	0.58 ^a	±	0.04	24.96 ^a	±	1.70	60.99 ^a	±	1.19
22	0.71 ^a	±	0.08	0.32 ^a	±	0.03	14.9 ^a	±	0.40	0.61 ^a	±	0.03	24.63 ^a	±	1.47	63.58 ^b	±	1.23

Letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0.05$) entre días de almacenamiento y el día inicial

Cuadro 17. Parámetros fisicoquímicos evaluados a 11 °C durante el almacenamiento de naranja Valencia (Experimento I).

Días	ICC-Flavado	ICC-Jugo	°Brix	Ac. Titulable	IM	%Jugo
0	0.52 ^a ± 0.05	0.41 ^a ± 0.06	14.17 ^a ± 0.29	± 0.06	± 0.66	58.05 ^a ± 1.89
4	0.61 ^a ± 0.06	0.43 ^a ± 0.05	14.10 ^a ± 0.14	0.60 ^a ± 0.01	23.67 ^a ± 0.60	59.23 ^a ± 1.62
6	0.56 ^a ± 0.13	0.39 ^a ± 0.02	14.03 ^a ± 0.33	0.56 ^a ± 0.03	25.28 ^a ± 0.86	60.36 ^a ± 1.69
8	0.54 ^a ± 0.11	0.22 ^a ± 0.03	13.97 ^a ± 0.21	0.60 ^a ± 0.05	23.37 ^a ± 2.70	60.81 ^a ± 3.43
11	0.58 ^a ± 0.01	0.36 ^a ± 0.01	15.00 ^a ± 0.00	0.63 ^a ± 0.02	23.90 ^a ± 0.98	58.83 ^a ± 1.37
13	0.60 ^a ± 0.04	0.40 ^a ± 0.03	14.77 ^a ± 0.17	0.59 ^a ± 0.05	25.06 ^a ± 2.34	57.64 ^a ± 0.59
15	0.61 ^a ± 0.08	0.39 ^a ± 0.02	14.83 ^a ± 0.47	0.67 ^a ± 0.01	22.27 ^a ± 0.96	59.51 ^a ± 2.08
18	0.57 ^a ± 0.08	0.45 ^a ± 0.02	13.83 ^a ± 0.24	0.64 ^a ± 0.02	21.75 ^a ± 0.67	60.57 ^a ± 0.79
20	0.57 ^a ± 0.07	0.38 ^a ± 0.03	14.83 ^a ± 0.24	0.67 ^a ± 0.04	22.13 ^a ± 2.06	59.59 ^a ± 0.55
22	0.66 ^b ± 0.06	0.40 ^a ± 0.01	14.83 ^a ± 0.24	0.61 ^a ± 0.09	24.47 ^a ± 3.99	59.27 ^a ± 1.42
25	0.57 ^a ± 0.05	0.42 ^a ± 0.03	14.67 ^a ± 0.47	0.64 ^a ± 0.02	23.06 ^a ± 1.51	61.00 ^a ± 0.75
27	0.63 ^a ± 0.05	0.31 ^b ± 0.13	14.50 ^a ± 0.00	0.60 ^a ± 0.03	24.26 ^a ± 1.31	60.74 ^a ± 0.87
29	0.65 ^b ± 0.06	0.32 ^b ± 0.02	14.83 ^a ± 0.24	0.63 ^a ± 0.01	23.64 ^a ± 0.67	61.63 ^b ± 0.38
33	0.69 ^b ± 0.09	0.43 ^a ± 0.02	15.33 ^a ± 0.24	0.60 ^a ± 0.06	25.56 ^a ± 3.80	59.36 ^a ± 1.25
35	0.68 ^b ± 0.03	0.38 ^a ± 0.01	15.40 ^a ± 0.58	0.63 ^a ± 0.06	24.54 ^a ± 2.21	60.34 ^a ± 0.57

Letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0.05$) entre días de almacenamiento y el día inicial

Cuadro 18. Parámetros fisicoquímicos evaluados a 22 °C durante el almacenamiento de naranja Valencia (Experimento II).

Días	ICC-Flavado	ICC-Jugo	Espesor de cáscara	°Brix	Ac. Titulable	IM	%Jugo
0		0.37 ^a ± 0.02	2.49 ^a ± 0.3	12.26 ^a ± 0.5	0.86 ^a ± 0.1	14.46 ^a ± 2	62.21 ^a ± 12
3		0.36 ^a ± 0.05	2.53 ^a ± 0.8	12.00 ^a ± 0.7	0.82 ^a ± 0.1	14.74 ^a ± 2	60.96 ^a ± 9
6	0.48 ^a ± 0.02	0.42 ^b ± 0.04	2.25 ^a ± 0.6	12.28 ^a ± 0.4	0.72 ^a ± 0.1	17.40 ^a ± 2.5	61.96 ^a ± 2
10	0.52 ^a ± 0.07	0.41 ^a ± 0.02	2.40 ^a ± 0.5	12.28 ^a ± 0.5	0.81 ^a ± 0.1	15.15 ^a ± 1	57.17 ^a ± 10
13	0.57 ^b ± 0.02	0.38 ^a ± 0.02	2.64 ^a ± 0.2	12.23 ^a ± 0.2	0.71 ^a ± 0.05	17.24 ^a ± 1	61.04 ^a ± 4
17	0.60 ^b ± 0.02	0.44 ^b ± 0.02	2.31 ^a ± 0.6	12.60 ^a ± 0.4	0.75 ^a ± 0.1	17.00 ^a ± 1.5	62.01 ^a ± 4
24	0.70 ^b ± 0.04	0.35 ^a ± 0.01	2.00 ^a ± 0.5	12.88 ^a ± 0.2	0.76 ^a ± 0.05	16.90 ^a ± 1	66.02 ^a ± 2

Letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0.05$) entre días de almacenamiento y el día inicial

Cuadro 19. Parámetros fisicoquímicos evaluados a 11°C durante el almacenamiento de naranja Valencia (Experimento II).

Días	ICC-Flavado	ICC-Jugo	Espesor de cáscara	°Brix	Ac. Titulable	IM	%Jugo
0		0.37 ^a ± 0.02	2.49 ^a ± 0.3	12.26 ^a ± 0.5	0.86 ^a ± 0.09	14.46 ^a ± 1.9	62.21 ^a ± 12
3		0.40 ^a ± 0.01	3.00 ^a ± 0.4	12.17 ^a ± 0.3	0.81 ^a ± 0.08	15.11 ^a ± 1.2	61.34 ^a ± 7.6
6	0.51 ^a ± 0.03	0.42 ^b ± 0.04	3.23 ^b ± 0.6	12.58 ^a ± 0.6	0.75 ^a ± 0.04	16.75 ^a ± 0.5	62.82 ^a ± 8.5
10	0.50 ^a ± 0.05	0.46 ^b ± 0.04	3.14 ^b ± 0.2	12.45 ^a ± 0.4	0.76 ^a ± 0.04	16.50 ^a ± 0.7	61.31 ^a ± 2.4
13	0.56 ^a ± 0.05	0.39 ^a ± 0.02	3.54 ^b ± 0.7	12.83 ^a ± 0.2	0.74 ^a ± 0.06	17.38 ^a ± 1.2	61.93 ^a ± 3
17	0.47 ^a ± 0.01	0.45 ^b ± 0.04	3.82 ^b ± 0.2	12.05 ^a ± 0.2	0.74 ^a ± 0.04	16.22 ^a ± 0.8	59.23 ^a ± 9.5
20	0.54 ^a ± 0.04	0.45 ^b ± 0.01	2.39 ^a ± 0.2	12.58 ^a ± 0.6	0.79 ^a ± 0.14	16.17 ^a ± 2.5	64.20 ^a ± 1.7
24	0.63 ^b ± 0.05	0.42 ^b ± 0.02	3.57 ^b ± 0.3	13.10 ^a ± 0.1	0.86 ^a ± 0.03	15.28 ^a ± 0.6	61.61 ^a ± 2.2
27	0.59 ^b ± 0.03	0.42 ^b ± 0.01	2.79 ^a ± 0.3	12.90 ^a ± 0.6	0.76 ^a ± 0.05	17.04 ^a ± 0.1	62.36 ^a ± 1.8
31	0.67 ^b ± 0.02	0.43 ^b ± 0.05	2.56 ^a ± 0.3	12.85 ^a ± 0.6	0.80 ^a ± 0.11	16.32 ^a ± 2.1	61.40 ^a ± 2.1
34	0.72 ^b ± 0.04	0.42 ^b ± 0.03	2.37 ^a ± 0.5	12.80 ^a ± 0.6	0.80 ^a ± 0.03	15.99 ^a ± 0.2	64.21 ^a ± 5.3
38	0.69 ^b ± 0.02	0.41 ^a ± 0.02	1.98 ^a ± 0.5	12.63 ^a ± 0.8	0.72 ^a ± 0.07	17.57 ^a ± 1.2	63.92 ^a ± 2.45
45	0.81 ^b ± 0.05	0.44 ^b ± 0.02	2.26 ^a ± 0.4	12.75 ^a ± 0.5	0.77 ^a ± 0.06	16.67 ^a ± 1	64.74 ^a ± 2.9
52	0.78 ^b ± 0.03	0.43 ^b ± 0.02	2.50 ^a ± 0.4	13.30 ^a ± 0.5	0.81 ^a ± 0.1	16.45 ^a ± 1.4	65.61 ^a ± 2.2

Letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0.05$) entre días de almacenamiento y el día inicial

9.1.2 Parámetros físicos

9.1.2.1 Pérdida de peso

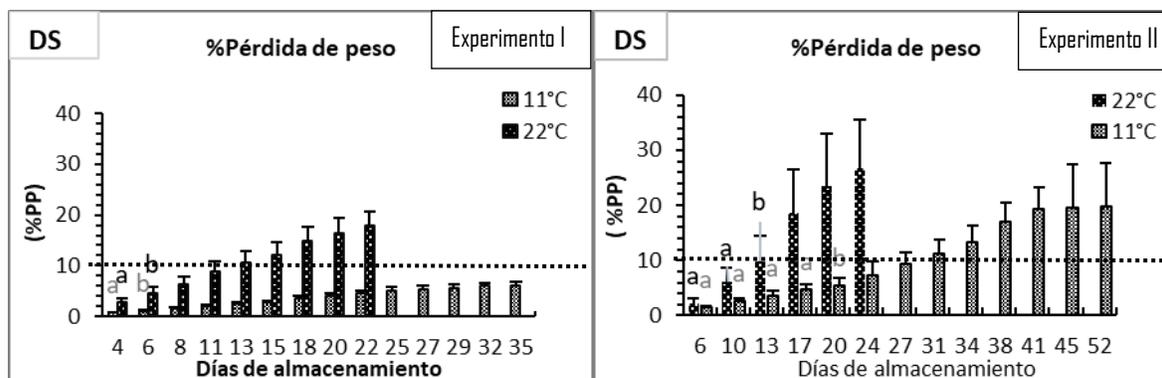


Figura 5. Pérdida de peso a 11 y 22 °C durante el almacenamiento de la naranja Valencia para los experimentos I y II. DS hay diferencia significativa ($p < 0.05$) entre temperaturas. Letras iguales indican que no hay diferencia significativa entre los días evaluados y el inicial (día 4) para la temperatura correspondiente.

La transpiración es un proceso de difusión donde parte del agua de los tejidos es liberada en forma de vapor al medio, lo que provoca cambios tanto internos como externos en las frutas y hortalizas. Este fenómeno se lleva a cabo a través de los estomas y lenticelas encontrados en la epidermis (Aked y Jongen, 2002), además de la cicatriz del pedúnculo donde se pierde la mayor cantidad de agua, aproximadamente de cuatro a seis veces más que en alguna otra región del fruto (Ladanyia, 2010). Este es el principal proceso causante de la pérdida de peso en frutas y hortalizas, fenómeno que representa el 95 % de la pérdida de peso y el 5% restante es por efecto de un segundo proceso metabólico, la respiración (Bosquez et al., 2015).

Estos procesos se ven afectados principalmente por la temperatura y humedad presente en el medio, fenómeno por el cual observamos en la figura 6 para ambos experimentos que la pérdida de peso es mayor a 22°C que a 11°C, rebasando el límite admisible del 10% de pérdida de peso (línea punteada) al día 13 de almacenamiento para los dos experimentos. Es importante identificar que a 11°C este límite no se rebasó más que en el segundo experimento para el día 31, posiblemente debido a las fluctuaciones de temperatura que se presentaron en el frigorífico. En este caso, el incremento en la pérdida de peso representó casi el doble del límite

a partir del día 41, lo que representaría pérdidas económicas considerables además de verse afectada la calidad la naranja. Ladanyia, (2010) reporta en naranja que entre el 5 y 6 por ciento de pérdida de agua puede verse reflejado en cambios de apariencia y firmeza, afectando su comercialización.

9.1.2.2 Evaluación de la firmeza

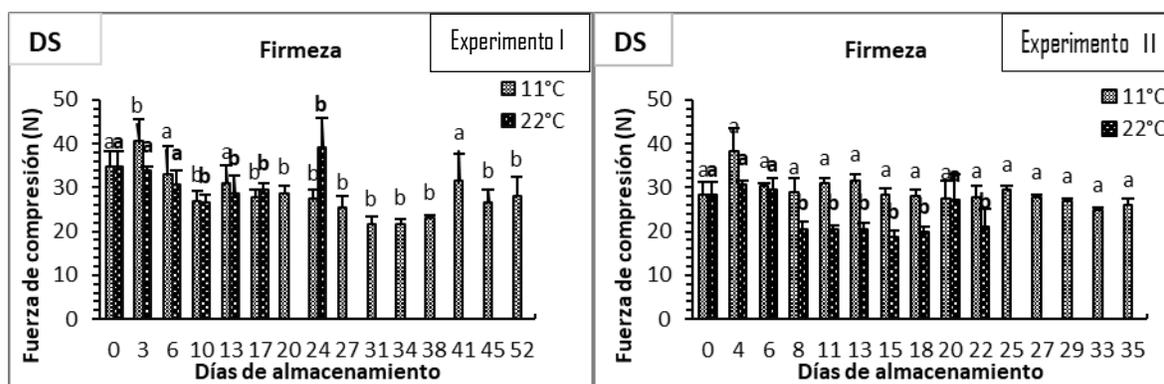


Figura 6. Firmeza de naranja Valencia a 11 y 22 °C durante el almacenamiento experimento, I y II. DS hay diferencia significativa ($p < 0.05$) entre temperaturas. Letras iguales indican que no hay diferencia significativa entre los días evaluados y el inicial.

La temperatura y el tiempo de almacenamiento influyeron de forma significativa en esta variable en los dos experimentos. En el primer experimento solo se observó cambio en las muestras almacenadas a 22°C desde el día 8 hasta el final del muestreo, manteniéndose un comportamiento descendente con excepción del día 20 (dato atípico probablemente debido a la mayor variabilidad de la muestra). En el segundo experimento, a 22°C se empieza a observar un decremento desde el día 10 hasta el 24 cuando ocurrió un incremento. El comportamiento es similar en las muestras almacenadas a 11°C, donde el cambio también se observó a partir del día 10 hasta finalizado el experimento con excepciones en los días 3, 13 y 41. El descenso en la firmeza también fue observado por Olmo et al. (2000) en las variedades de naranja Valencia y Lanelate durante el almacenamiento por 4 semanas. Durante el almacenamiento los frutos presentan una disminución de firmeza debido a la pérdida de agua que afecta su turgencia; sin embargo, hay otros factores que contribuyen al ablandamiento como la actividad enzimática. El ablandamiento durante la maduración de frutos carnosos se debe

principalmente a la acción de enzimas como la endopoligalacturonasa, pectin metil-esterasa y β -galactosidasa (McKenna, 2004). Pero en cítricos se han reportado principalmente la pectinmetilesterasa (PME) y la poligalacturonasa (PG) (Ladanyia, 2010). La transpiración y la actividad enzimática se ven afectadas por la temperatura (Cáceres et al., 2006), y esto explica por qué en los dos experimentos la pérdida de firmeza es mayor en las muestras de naranja almacenadas a 22°C comparadas con las que se almacenaron a 11°C. Ortiz y Terregrosa (2013) evaluaron el efecto de diferentes condiciones de almacenamiento en el daño mecánico de las variedades Valencia y Marisol, reportando que a temperaturas altas y HR bajas las frutas se vuelven menos firmes y por lo tanto son más susceptibles al daño mecánico.

9.1.2.3 Espesor de la cáscara

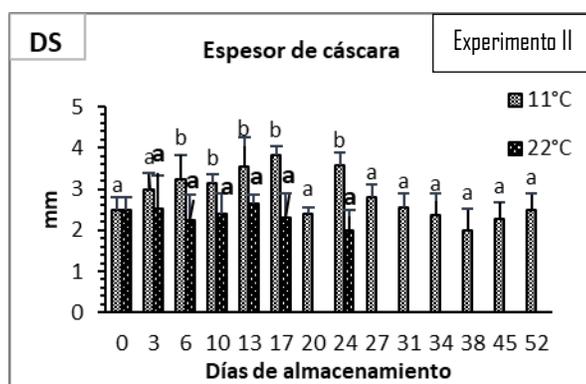


Figura 7. Espesor de la cáscara a 11 y 22 °C durante el almacenamiento de naranja Valencia. DS hay diferencia significativa ($p < 0.05$) entre temperaturas. Letras iguales indican que no existe diferencia significativa entre los días evaluados.

Esta variable sólo se midió en el segundo experimento (figura 7). De acuerdo con Ladanyia (2010) durante el almacenamiento la cáscara se torna más delgada por la deshidratación que sufre el fruto, sin embargo, esto no se observó en las muestras de naranja almacenadas a ambas temperaturas, ya que la humedad relativa en que se mantuvieron los frutos fue alta como para observar este comportamiento. Pero si se observó que a 11 °C el grosor de la cáscara fue mayor estadísticamente que a 22°C.

9.2 Compuestos volátiles

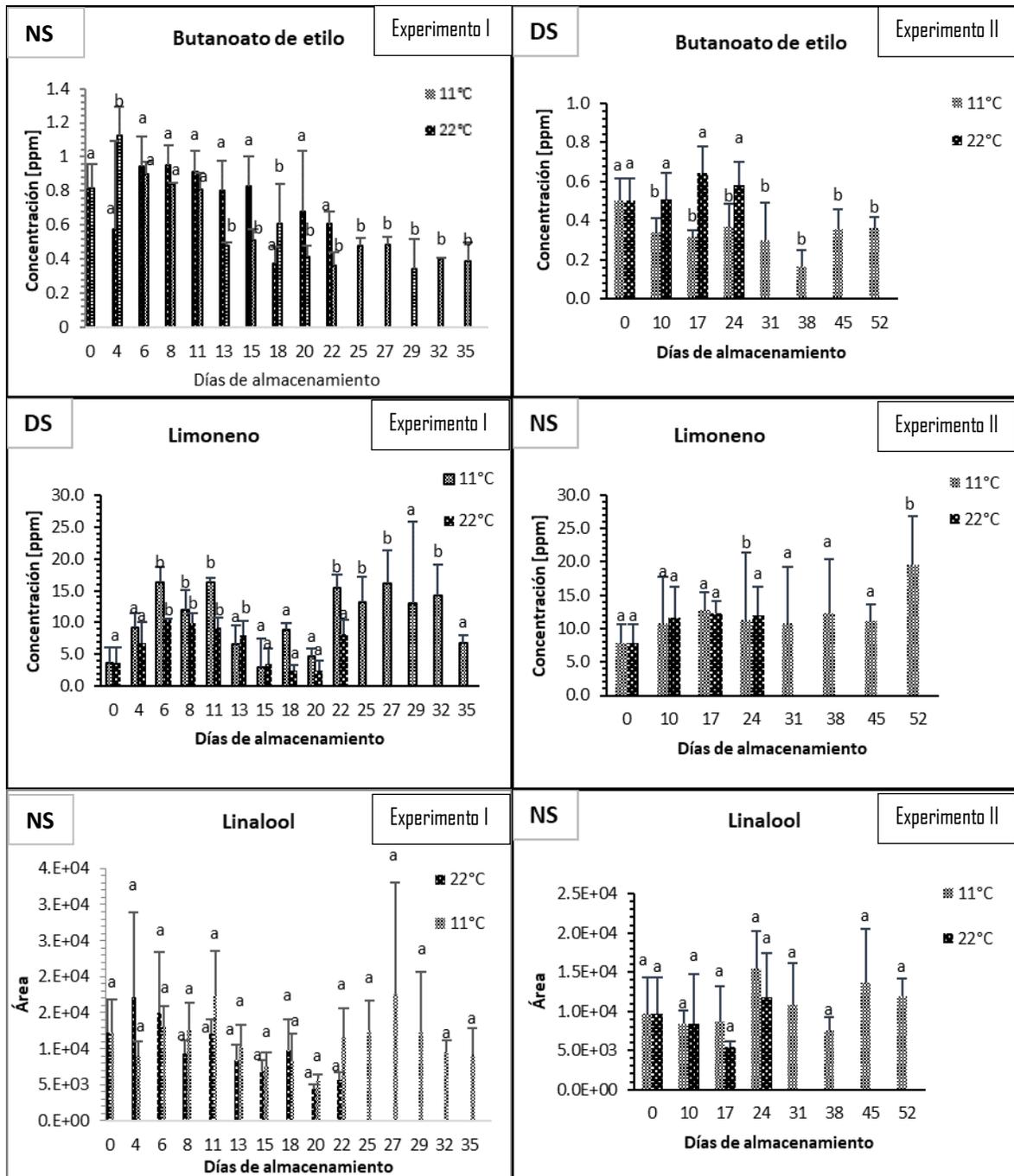


Figura 8. Butanoato de etilo, Limoneno y Linalool en naranja Valencia durante el almacenamiento a 11 y 22°C, experimento I y II. Letras diferentes indican diferencia significativa respecto al día inicial (0) (Experimento I y II).

En este estudio se evaluaron compuestos volátiles que se asocian con el olor característico de la naranja, entre los que destacan butanoato de etilo, limoneno y linalool, responsables del aroma a fresco, además de algunos asociados a la pérdida del aroma como el alfa-terpineol, p-vinilguayacol y el furaneol (Berger, 2007), estos dos últimos reportados en jugos procesados.

El p-vinilguayacol y el furaneol no fueron detectados con la metodología aplicada en las muestras de naranja en ninguno de los experimentos.

Los compuestos se monitorearon durante el almacenamiento de las muestras de naranja a 22°C y 11°C. Con el objetivo de cuantificar si los niveles de estos compuestos cambiaban y tratar de determinar si este cambio podía ser un indicador de la pérdida de la calidad comercial del fruto determinada por métodos sensoriales. Se trabajó con jugo libre de aceites esenciales ya que son escasos los estudios realizados con esta matriz por lo que se conoce poco sobre los componentes volátiles responsables del aroma en jugo.

9.2.1 Butanoato de etilo

Los ésteres se caracterizan por ser los componentes que contribuyen a las notas frutales, y aparecen en el perfil de olor en el jugo de naranja variedad Valencia reportado por Arena et al. (2006) en un estudio donde comparan los perfiles de volátiles de cuatro variedades de naranja. En efecto, el butanoato de etilo es el compuesto del grupo de los ésteres que contribuye de forma considerable al sabor deseable del jugo de naranja (Hinterholzer y Schieberle, 1998; Kelebek y Selli, 2011; Perez-Cacho y Rouseff, 2008). Este compuesto mostró diferencia significativa por efecto de la temperatura sólo en el segundo experimento. En cuanto al efecto del tiempo de almacenamiento podemos observar que la concentración de este volátil no cambió en las muestras de naranja almacenada a 22°C para ambos experimentos; sin embargo, a 11°C se tiene un decremento, este cambio empieza a observarse para el primer experimento al día 10 y para el segundo a partir del día 13. Las concentraciones fueron de 0.75 ppm y 0.6 ppm en el experimento I en las muestras almacenadas a 22°C y 11°C, y en el experimento II de 0.6 ppm y 0.3 ppm, respectivamente; estas concentraciones están 6 veces por debajo de lo

reportado por Macías (2015) quién también analizó naranja Valencia, pero procedente del estado de Morelos. Por su parte, Perez-Cacho y Rouseff (2008) reportaron concentraciones de 0.84 $\mu\text{g/mL}$ en jugo de naranja 'Valencia' extraído de forma manual y Fan et al. (2009) trabajando con naranjas 'Jincheng' encontró concentraciones de 36 $\mu\text{g/L}$ en jugo fresco. Es importante mencionar que el jugo analizado en estas investigaciones corresponde a jugo de naranja extraído sin el previo retiro de la cáscara, por lo que las concentraciones son mayores a las obtenidas en este estudio donde el jugo estuvo libre de contaminación del aceite de la cáscara.

9.2.2 Limoneno

Otro grupo importante de compuestos volátiles que contribuyen al olor de la naranja además de los ésteres, son los terpenos los cuales son metabolitos secundarios sintetizados por las plantas como defensa a condiciones externas que las estresan u organismos que las atacan. Los terpenos también son responsables del aroma de algunas flores y frutas, en este grupo encontramos al componente volátil mayoritario del aceite esencial y del jugo de la naranja, el limoneno (Brat et al., 2003; Bylaite y Meyer, 2005; Diezma et al., 2001; Fan et al., 2009; Qiao et al., 2008).

En este estudio se observó que el limoneno es el volátil mayoritario en el jugo de naranja. Como se observa en la figura 8, el limoneno mostró diferencia significativa por efecto de la temperatura solo para el experimento I pero en ambos experimentos el tiempo de almacenamiento tuvo un efecto significativo, con excepción de las muestras almacenadas a 22°C del segundo experimento.

En el experimento I se observa que la concentración incrementa a partir del día 6 hasta los días 13 y 11 a 22 °C y 11°C respectivamente, para mantenerse sin cambio hasta el día 22 en las almacenadas a 22 °C, pero incrementando a 11°C excepto en los días 29 y 35. En el experimento II en las muestras almacenadas a 11°C se tuvo un incremento en los días 24 y 52. McCalley y Torres-Grifol (1992) reportan que el incremento en las concentraciones del

limoneno están asociadas al daño mecánico o a infecciones por patógenos. Cabe mencionar que a pesar de que las naranjas en el presente estudio se sometieron a un tratamiento de desinfección, mostraron daños por patógenos (Anexo C) preliminarmente identificados como *Alternaria* y *Penicillium* por su sintomatología. Basados en lo anterior, el aumento de las concentraciones de limoneno puede ser explicado por la invasión de microorganismos.

Las concentraciones promedio de limoneno reportadas en el experimento I fueron de 6.5 y 10 ppm en las muestras almacenadas a 22°C y 11°C, respectivamente y en el experimento II de 11 y 12 ppm. Macías (2015) reportó concentraciones de 222 ppm en naranja ‘Valencia’ procedente del estado de Morelos almacenada por 14 días a temperatura ambiente. Como se puede ver las concentraciones entre experimentos varían poco, por lo que puede pensarse que la estación de cosecha no juega un papel relevante en la concentración de este volátil; sin embargo, cuando se comparan con los datos del estado de Morelos reportados por Macías (2015) las diferencias son de gran magnitud (más de 20 veces mayores), lo que sugiere que la región de producción es un factor que influye de forma importante en la concentración del limoneno. Otros autores han reportado en jugo fresco extraído manualmente concentraciones de 18 µg/mL en la misma variedad ‘Valencia’ pero proveniente de Florida (Perez-Cacho y Rouseff, 2008).

A pesar de que el limoneno es el volátil mayoritario en el jugo de naranja, se ha cuestionado su importancia en la contribución al aroma de este fruto fresco (Rodriguez et al., 2017). Se piensa que los hidrocarburos oxigenados son los principales compuestos aromáticos (Ahmed et al., 1978) y que el limoneno es más un vehículo para estos aromas que un compuesto aromático en sí mismo (Kimball, 1999). Se ha reportado en jugo procesado de cítricos que las concentraciones de este compuesto disminuyen al igual que las de linalool (compuesto asociado al aroma característico del jugo fresco de naranja) durante el almacenamiento ocasionando pérdida del sabor del jugo; sin embargo, se conoce poco sobre el cambio que sufren estos compuestos durante el almacenamiento del fruto fresco (Obenland et al., 2008). Macías (2015) evaluó el comportamiento de algunos compuestos asociados al aroma a fresco

y a envejecido de la naranja 'Valencia' durante el almacenamiento de este cítrico, reportando un decremento del limoneno y linalool.

9.2.3 Linalool

El linalool no mostró diferencia significativa por efecto de la temperatura ni por el tiempo de almacenamiento (figura 8). Este mismo comportamiento se reportó en naranjas 'Navel' almacenadas por seis semanas Oberland et al. (2008). En el presente estudio, los resultados para este compuesto están reportados en áreas debido a la baja sensibilidad del equipo a este compuesto que no permitió su cuantificación. Similarmente, otros autores reportan los niveles de linalool en jugo de naranja fresco como trazas (Macías, 2015; Nisperos-Carriedo et al., 1990).

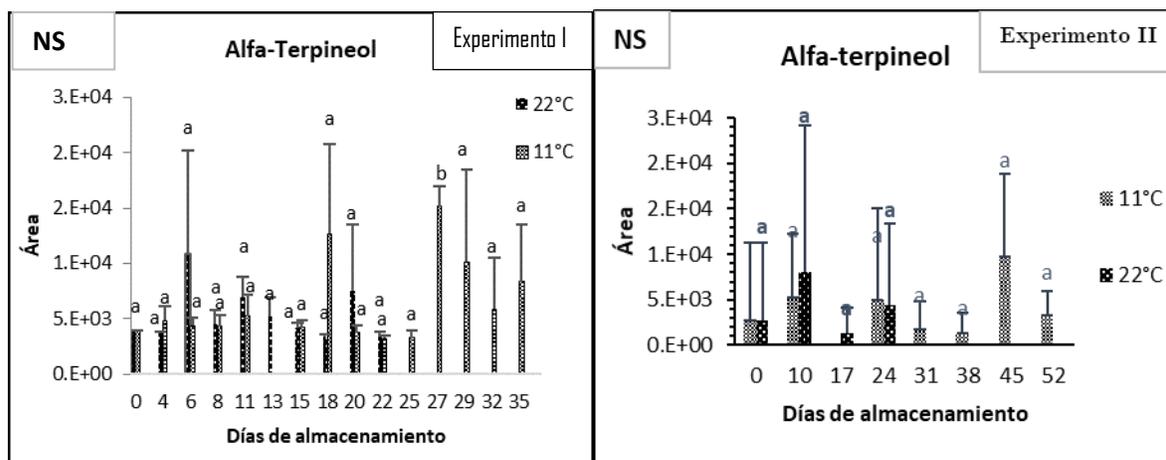


Figura 9. Alfa-terpineol en naranja Valencia durante el almacenamiento a 11 y 22°C, experimento I y II. Letras diferentes indican diferencia significativa respecto a día inicial (0).

9.2.4 Alfa-terpineol

Mientras este compuesto se reporta como componente característico del aroma de frutos como el mango y el chabacano (albaricoque) (Berger, 2007), en naranja se tiene el efecto contrario, confiriendo notas desagradables que generan un rechazo por el jugo. En efecto, como se mencionó, este compuesto se ha asociado con el olor a envejecido de la naranja.

En la figura 9 se observa que el alfa-terpineol no mostró cambios por efecto de la temperatura ni del tiempo de almacenamiento. Como en el caso anterior, por problemas de sensibilidad del detector del CG, los niveles de este compuesto se reportan en áreas. Otros autores han reportado concentraciones de 0.19 $\mu\text{g/mL}$ en jugo extraído de forma mecánica, pero no en jugo extraído de forma manual (Perez-Cacho y Rouseff, 2008).

Haleva-Toledo et al. (1999). destaca que el alfa terpineol puede formarse a partir de dos sustratos, el limoneno y el linalool, sin embargo, la transformación de ambos a alfa terpineol no depende de su concentración inicial sino del pH del medio y de la temperatura. El mismo autor determinó que este compuesto incrementa con el tiempo y la temperatura de almacenamiento en jugos comerciales de limón, toronja y naranja.

9.3 Regresión

A las variables que mostraron diferencia significativa durante el almacenamiento se les aplicó un análisis de regresión.

El uso de modelos matemáticos se ha puesto en práctica con la finalidad de predecir el comportamiento de productos hortofrutícolas en relación con su calidad, lo cual se ha convertido en una herramienta útil para monitorear los cambios que sufren estos productos durante su almacenamiento. En varias investigaciones han utilizado esta herramienta para modelar los cambios que sufre la firmeza en diferentes frutos incluyendo la naranja (Castellanos y Algecira, 2012; Mziou et al., 2009; Olmo et al., 2000).

En la figura 10 se observa el comportamiento que presentó la firmeza de los frutos durante su almacenamiento. El modelo ajustado fue un polinómico de segundo orden con un $R=0.926$ que nos indica que la variación de la firmeza está explicada por el modelo ajustado en un 92.6%. Este modelo describe un descenso hasta un punto de inflexión donde se observa un incremento. Lo cual está asociado con el proceso de deshidratación, donde al inicio es lo suficiente para observar un descenso en la firmeza, pero cuando incrementa, la cáscara se endurece y aumenta la fuerza necesaria para ser comprimida. Este comportamiento también ha sido reportado por Macías (2015). Singh y Reddy, (2006) desarrollaron también un modelo polinómico para describir el comportamiento en naranja ‘Nagpur Mandarin’.

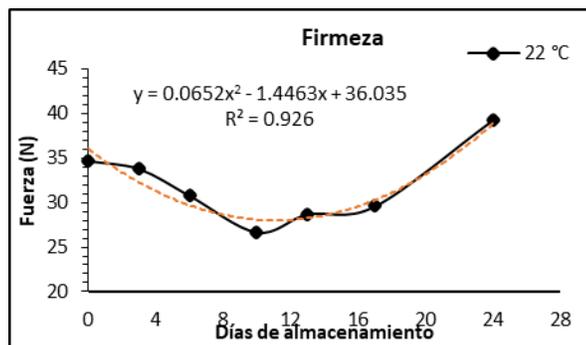


Figura 10. Modelo de regresión para la variable de firmeza.

En la figura 11, se presentan los modelos ajustados para la pérdida de peso para los dos experimentos, como se observa el modelo lineal presentó un buen ajuste. Estos modelos de regresión nos permiten conocer bajo ese rango de valores la pérdida de peso en cualquier día de almacenamiento, por ejemplo, en que día se rebasa el 10% del límite permisible de pérdida de peso, además de conocer la velocidad con la que el fruto pierde agua. En ambos experimentos observamos que la naranja almacenada a 22°C pierde agua tres veces más rápido que la almacenada a 11°C. Y para el segundo experimento la velocidad de pérdida fue mayor en comparación con el primero experimento lo cual podría atribuirse a diferentes factores como la temporada de cosecha, factores climatológicos y la no permanencia de la fruta en el árbol después de adquirida la madurez comercial.

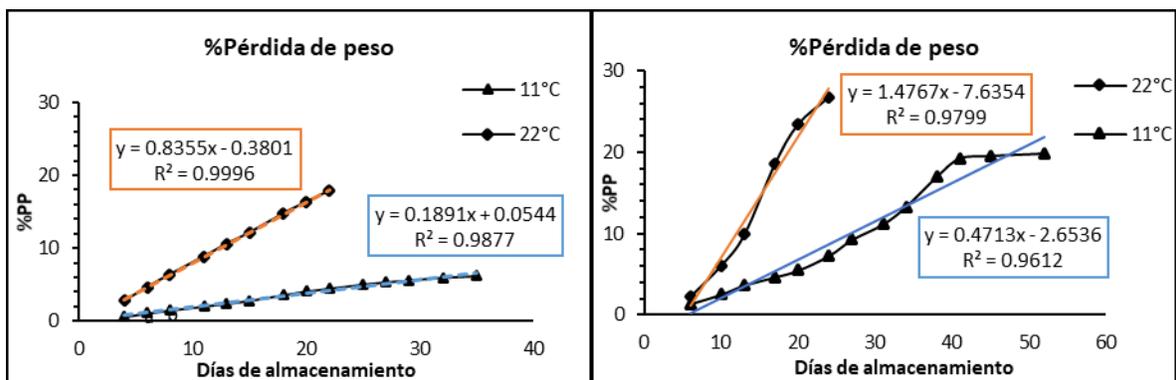


Figura 11. Modelos de regresión lineal simple para la variable de porcentaje de pérdida de peso, experimento I y II.

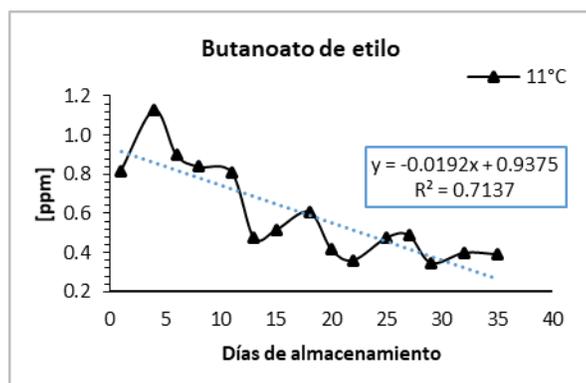


Figura 12. Modelo de regresión lineal simple para la variable concentración de butanoato de etilo experimento I.

La literatura reporta que durante el almacenamiento de la naranja los niveles del butanoato de etilo disminuyen, sin embargo, no se aportan datos específicos sobre los niveles de este volátil a través del tiempo, por ello se procedió a establecer un modelo que representara el comportamiento de los niveles de este volátil en el jugo de naranja sin aceite esencial procedente de la cáscara. El modelo lineal simple ajustado que describe tal comportamiento es; $Y = -0.0192x + 0.9375$, $R^2 = 0.7131$. Con esta información aunada a los demás parámetros y atributos sensoriales podemos conocer si existe un punto en el tiempo donde la naranja deja de ser aceptada por los consumidores.

9.4 Análisis sensorial

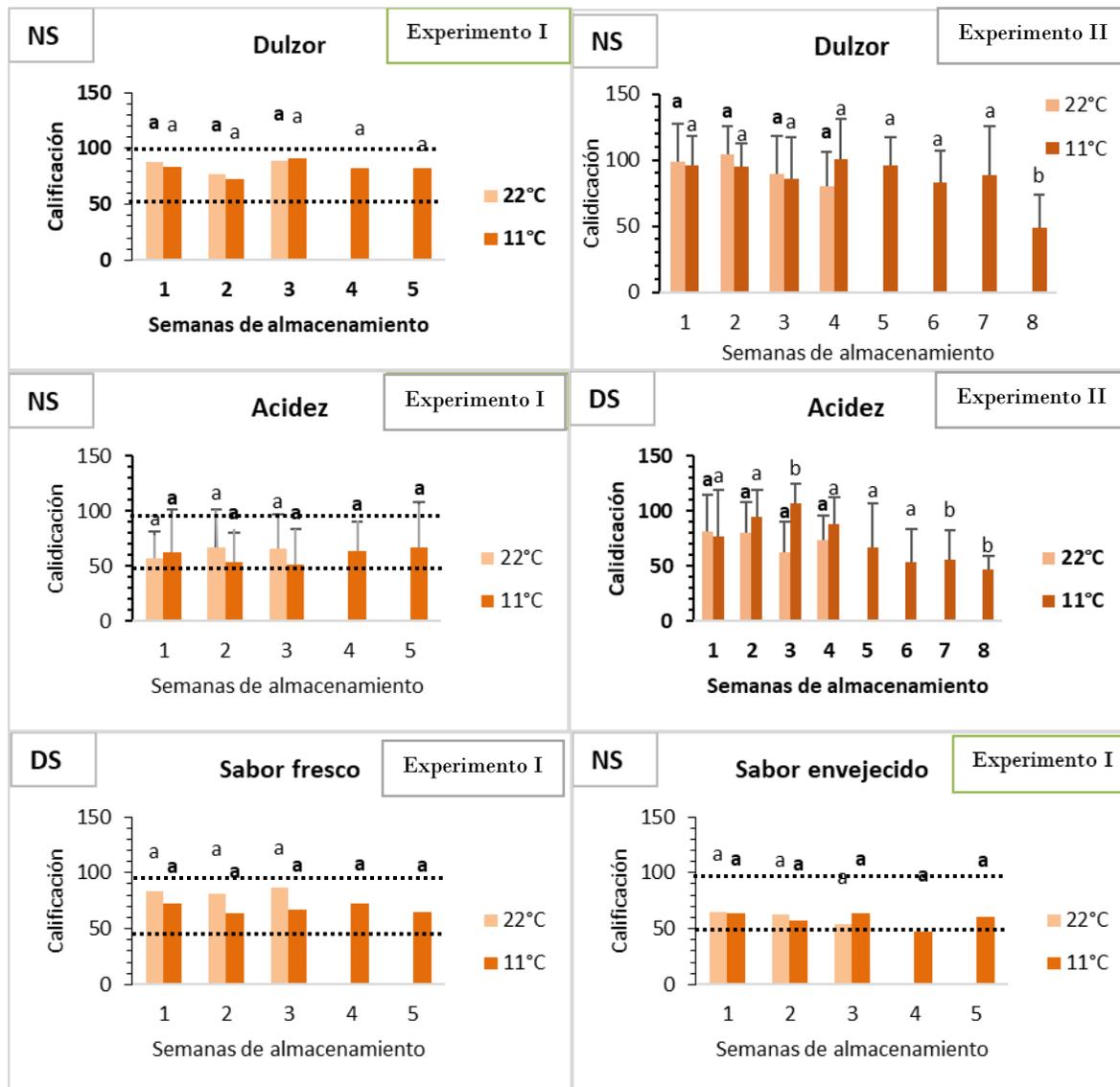


Figura 13. Evaluación de atributos de sabor de naranja 'Valencia' durante el almacenamiento a 22 y 11°C.

Con los datos obtenidos de la prueba Duo-Trio se estableció que las muestras son diferenciadas entre tratamientos en la tercera semana de almacenamiento, lo que nos indica que los jueces detectan los cambios que sufren las muestras almacenadas a 22°C y 11°C solo hasta la tercera semana.

En cuanto al atributo de dulzor, en el experimento I (figura 13) los jueces no detectaron cambios significativos entre 22°C y 11°C, y tampoco respecto al tiempo de almacenamiento. Y califican este atributo en el intervalo de justo lo que esperaba.

En el experimento II, al igual que en el I, los jueces no detectaron cambios en las muestras almacenadas a 22°C, sin embargo, las almacenadas a 11°C fueron evaluadas como menos dulces en la semana ocho. Obenland et al. (2008) también reportaron una disminución en el dulzor durante el almacenamiento de naranja ‘Navel’ almacenada a 5°C en la semana seis de almacenamiento.

En cuanto al segundo parámetro relevante en la evaluación sensorial de frutas, la acidez, los jueces no detectaron ningún cambio en el experimento I y calificaron este atributo como justo lo que esperaba durante todo el almacenamiento. En el experimento II los jueces diferencian entre temperaturas percibiendo más ácidas las muestras almacenadas a 22°C, y solo en las conservadas a 11°C el panel sensorial encontró diferencia por efecto del tiempo de almacenamiento, percibiendo más ácidas las naranjas en la semana tres y menos ácidas en las semanas siete y ocho. De acuerdo a Marcilla et al. (2006) quienes evaluaron la variedad ‘Valencia Late Fost’ almacenada a 5, 15, 20 y 25°C, con un tratamiento previo de 5°C por dos meses, también hubo una disminución en la acidez sensorial durante su almacenamiento.

Adicionalmente, en el primer experimento se evaluaron los atributos de sabor fresco y envejecido, observándose cambios sólo para el primer atributo entre temperaturas (las naranjas almacenadas a 22°C tuvieron un sabor más fresco). Obenland et al. (2008) reportaron una disminución en la percepción del sabor a fresco a partir de la semana tres de naranja ‘Navel’ almacenada a 5°C por 0, 3 y 6 semanas. También reportaron en su estudio el efecto del almacenamiento en la pérdida de sabor de dos variedades de mandarina (‘W. Murcott’ y ‘Owari’) conservadas a 0, 4 y 8°C por 0, 3 y 6 semanas (Obenland et al., 2011).

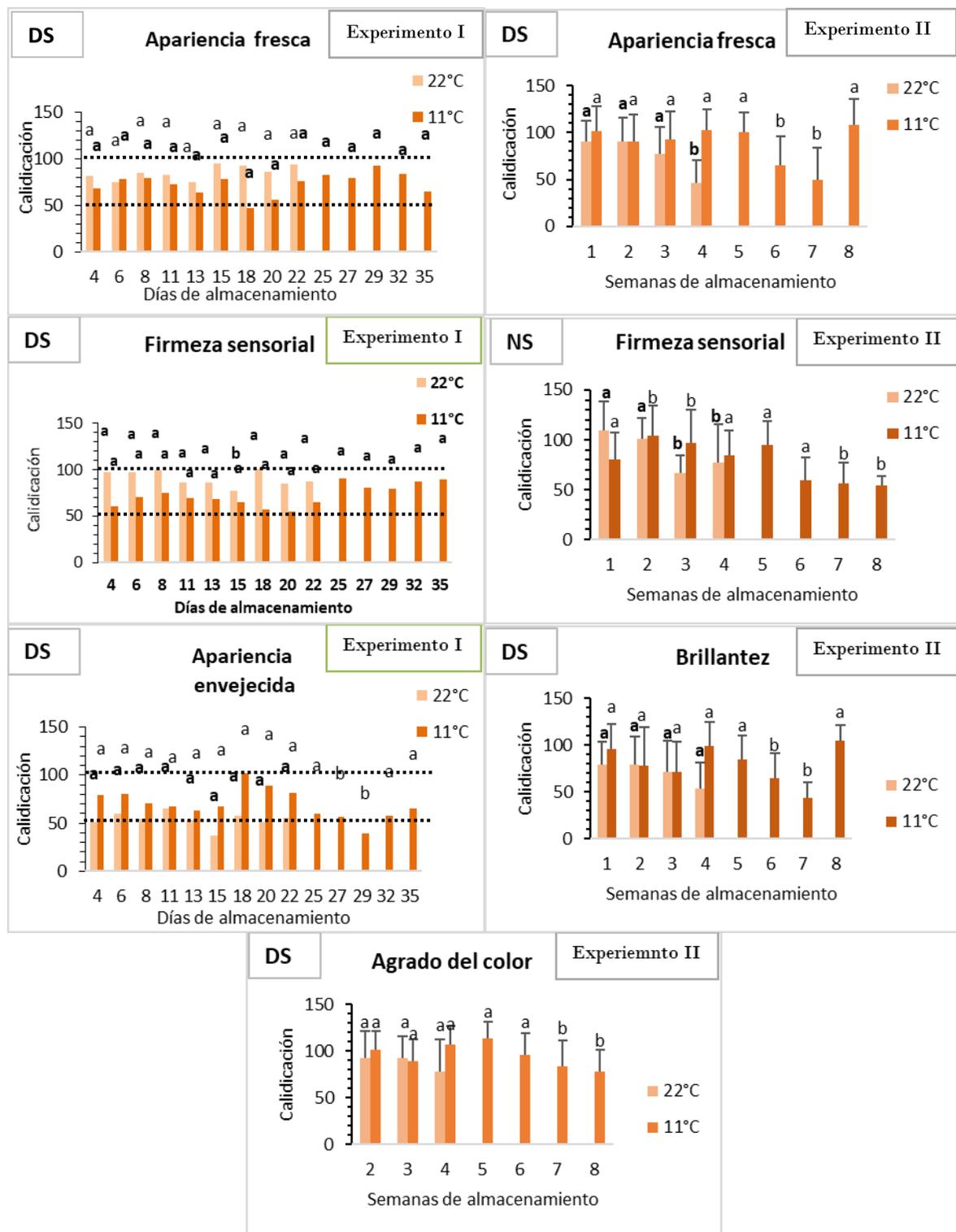


Figura 14. Atributos asociados con la textura de naranja 'Valencia' durante el almacenamiento a 22 y 11°C, experimento I y II.

Como segundo punto se evaluaron atributos asociados a la textura que influyen en la selección del consumidor por los productos hortofrutícolas frescos (Harker y Johnston, 2008). Para ambos experimentos el panel detectó diferencia significativa en la evaluación de la apariencia fresca entre temperaturas. En el experimento I la frescura fue calificada en justo lo que esperaba en ambas muestras. En el segundo experimento se detectaron diferencias significativas por efecto del tiempo de almacenamiento, evaluando con una apariencia menos fresca las muestras almacenadas a 22°C en la semana cuatro y las muestras almacenadas a 11°C en las semanas seis y siete. Este comportamiento también fue observado por Marcilla et al. (2006) en naranjas 'Valencia' almacenadas a 5, 10, 15 y 20°C durante un mes, con un previo almacenamiento de dos meses a 5°C. La firmeza sensorial mostró diferencia por efecto de la temperatura solo en el experimento I y en ambos tratamientos fueron calificadas en justo lo que esperaba. En el segundo experimento los jueces percibieron menos firmes las muestras almacenadas a 22°C desde la semana tres, en las muestras almacenadas a 11°C se observó una mayor firmeza en la semana dos y tres para después observar un descenso a partir de la semana siete.

La apariencia envejecida (evaluada en el primer experimento), brillantez y agrado en color (evaluados en el segundo experimento) mostraron diferencia por efecto de la temperatura y solo presentaron diferencia durante el tiempo de almacenamiento las muestras almacenadas a 11°C para estos tres atributos cuyo comportamiento fue decreciente, así como para apariencia envejecida en los días 27 y 29, brillantez en la semana seis y siete y finalmente, agrado en color a partir de la semana siete.

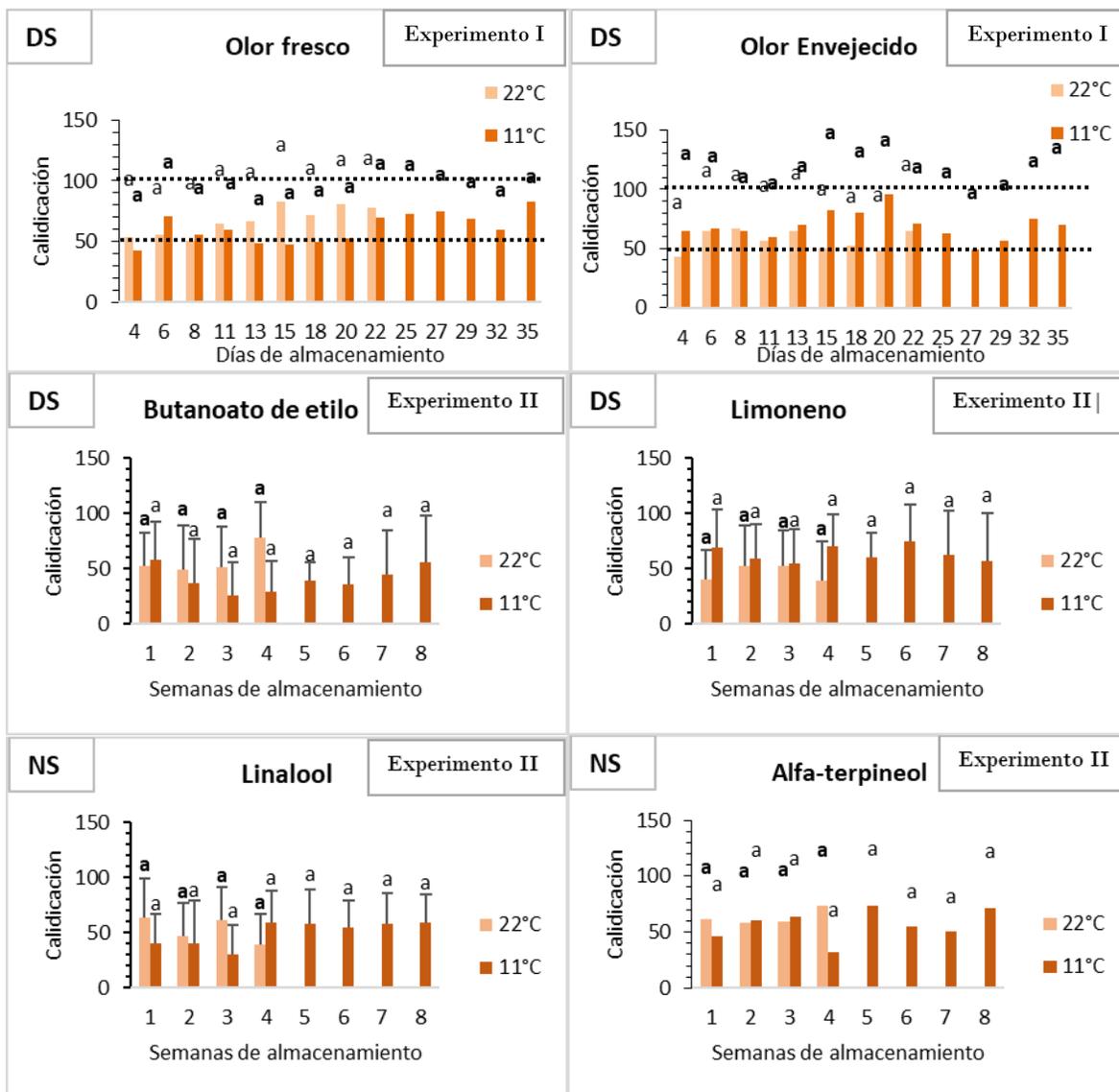


Figura 15. Evaluación sensorial del aroma de naranja 'Valencia' durante el almacenamiento a 22 y 11°C, experimento I y II.

El aroma se evaluó en conjunto a través de los atributos de olor fresco y olor a envejecido, y de forma específica se analizaron las percepciones de los jueces por los compuestos que se han asociados al aroma a fresco y envejecido en el jugo de naranja. En la figura 15 observamos que para las muestras almacenadas a 22 y 11°C los jueces encontraron diferencia entre tratamientos para los atributos de olor a fresco y envejecido. Los jueces calificaron a ambas muestras como justo lo que esperaban en contraste con el olor envejecido. De acuerdo a Belitz y Grosch (2004), Marcilla et al. (2006) y Obenland et al. (2011) la pérdida del olor a fresco del

jugo de naranja se puede deber a la formación de compuestos como el carvoneno que se forma por la oxidación del limoneno.

El butanoato de etilo fue percibido con mayor intensidad en las muestras almacenadas a 22°C que a 11°C, comportamiento contrario fue observado en limoneno y para ambos no se identificó diferencia significativa durante el almacenamiento. No se percibió diferencia entre las muestras almacenadas a 22 y 11°C para el linalool como para el alfa terpineol, así como durante el almacenamiento.

En la prueba para comparar las intensidades de percepción entre muestras almacenadas a 22°C y 11°C, se identificó que el alfa-terpineol es el compuesto que los jueces perciben con una diferente intensidad entre muestras desde la semana tres.

En la literatura aún no se ha profundizado el análisis sobre los cambios que presenta el aroma de los frutos almacenados y su relación con la percepción sensorial. Recientemente se han venido desarrollado algunas investigaciones específicas sobre frutos cítricos que han analizado de forma sensorial el aroma durante el almacenamiento (Macías, 20015; Marcilla et al., 2006; Obenland et al., 2011).

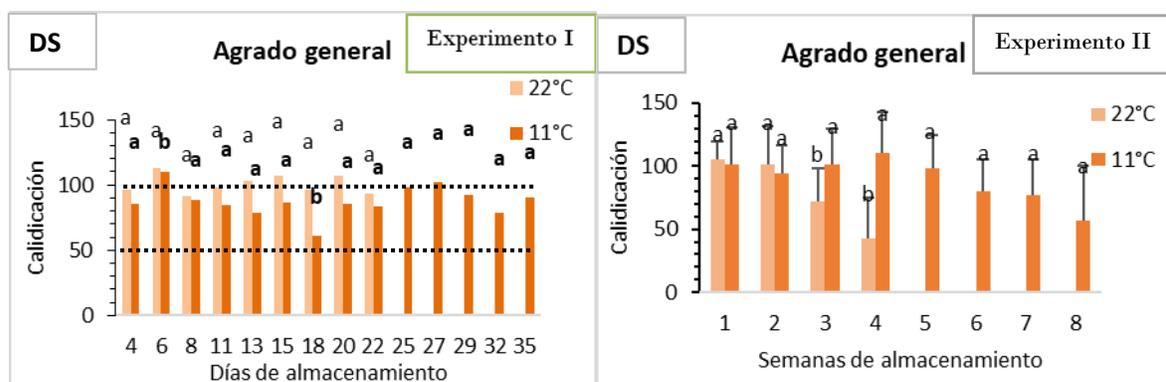


Figura 16. Evaluación del agrado en general de naranja 'Valencia' durante el almacenamiento a 22 y 11°C, experimento I y II.

Como punto final se les pidió a los jueces evaluar en conjunto todos los atributos y calificaran el agrado en general. En el experimento I las muestras que se almacenaron a 22°C

agradaron más que las almacenadas a 11°C, en el segundo experimento el comportamiento fue similar hasta la semana dos, pero en las últimas dos semanas empezaron a dejar de gustar. Y las almacenadas a 11 °C siguieron agradando hasta el final del almacenamiento.

9.5 Correlaciones

Cuadro 20. Correlaciones de los parámetros fisicoquímicos evaluados en naranja Valencia.

Variables			Coefficiente de correlación
%PP	VS	Firmeza sensorial	<i>0.58</i>
Apariencia fresca	VS	Firmeza sensorial	<i>0.59</i>
Apariencia envejecida	VS	Firmeza sensorial	<i>-0.72</i>
%Jugo	VS	Firmeza sensorial	<i>-0.90</i>
Firmeza sensorial	VS	Agrado en general	<i>0.77</i>
Agrado del color	VS	Agrado general	<i>0.79</i>
Dulzor	VS	Agrado en general	<i>0.88</i>
Acidez	VS	Agrado general	<i>0.78</i>
Percepción del butanoato	VS	Agrado en general	<i>-0.53</i>
[Butanoato de etilo]	VS	Percepción butanoato de etilo	<i>0.54</i>
[Butanoato de etilo]	VS	Firmeza	<i>0.88</i>

Los valores positivos indican un cambio en la misma dirección entre las variables correlacionadas
Los valores negativos indican un cambio en dirección contraria entre las variables correlacionadas

En el cuadro 20 se observan las variables que tuvieron mayor relación en ambos experimentos (mayor a 0.5). El porcentaje de pérdida de peso guardó relación directamente con la firmeza sensorial (0.58), lo que nos indica que el fruto se torna más duro cuando más agua se libera al medio, esto afecta principalmente la cáscara ya que sufre un proceso de deshidratación y se vuelve más dura. La apariencia fresca fue otro atributo que correlacionó directamente con la firmeza sensorial (0.59). Además, se observa que la apariencia envejecida y el % de jugo correlacionan inversamente con la firmeza sensorial, por lo que se infiere que el panel de jueces determinó más envejecidas las muestras que se encontraban menos firmes. En relación al porcentaje de jugo, como sabemos el jugo de naranja tiene un alto porcentaje de agua, por lo

que a mayor cantidad de jugo se tiene mayor turgencia (presión del agua ejercida sobre la pared de la célula), por lo tanto, una mayor firmeza.

El agrado general correlacionó con variables relacionadas al gusto, textura y olor; en el primer grupo se encuentran el dulzor y la acidez, parámetros que se han evaluado como principales responsables de la aceptación gustativa en frutos frescos y que correlacionaron directamente con el agrado del panel por este cítrico. Productos más dulces y más ácidos parecen ser los de mayor preferencia por los jueces. En el segundo grupo se encontró la firmeza sensorial y el agrado en color, los cuales guardan una relación directa con el agrado, lo que nos indica que el consumidor tiene preferencia por productos más firmes. El color forma parte importante en la selección de este fruto por el consumidor. Por último, la percepción del butanoato de etilo, caracterizado por notas frutales, correlacionó inversamente con el agrado. Esta relación indica la importancia de este volátil como componente del aroma, ya que se observa que la disminución en la percepción de éste afecta el agrado del consumidor por el cítrico. Es importante mencionar que hubo una buena correlación entre la concentración y la percepción del butanoato de etilo. Además, la concentración de este compuesto manifestó una fuerte relación con la firmeza. Camarena et al. (2007) reportan que después de los 10 días de almacenamiento la naranja pierde firmeza, asociando este cambio al proceso de senescencia, y como se mencionó en el apartado (8.1.3) los cambios en las concentraciones de este compuesto empiezan a observar un comportamiento decreciente en la segunda semana de almacenamiento.

10. Conclusiones

Al realizar la comparación estadística entre las muestras iniciales correspondientes al experimento I y al experimento II se pudo conocer que estas diferían en algunos parámetros, lo cual puede deberse a diferentes factores ambientales que no pueden ser controlados

Los parámetros reportados en norma (SST, AT, IM) se mantuvieron sin cambios en ambos experimentos y sus valores aunados al % de jugo se encontraron dentro de norma. Los correspondientes atributos, dulzor y acidez, mostraron un comportamiento decreciente en las últimas semanas de almacenamiento (siete y ocho) y una correlación alta con el agrado en general.

De los parámetros físicos, el ICC del flavedo no cambió por efecto de la temperatura de almacenamiento, pero sí lo hizo el ICC del jugo y ambos presentaron diferencias significativas por efecto del tiempo de almacenamiento. Los valores de esta variable indicaron una tonalidad amarilla y al evaluar sensorialmente el agrado del color, el ICC se identificó como un atributo que influye en el agrado del panel por el fruto. Durante el almacenamiento este atributo fue del agrado del panel con excepción de las últimas semanas (siete y ocho).

El porcentaje de pérdida de peso varió en función de las condiciones de almacenamiento, en refrigeración (11°C) la pérdida de peso fue aproximadamente cuatro veces menor que a temperatura ambiente (22°C), lo cual se ve reflejado tanto en la merma neta de peso como en la calidad del fruto y ambos en una reducción de su valor económico.

La firmeza también fue un parámetro físico que resultó afectado por las condiciones de almacenamiento, y sensorialmente estos cambios fueron detectados en la semana tres para las muestras almacenadas a 22°C y en la semana siete para las almacenadas a 11°C cuando ambas fueron evaluadas como menos firmes.

El espesor de cáscara es un parámetro que se ve afectado principalmente por las condiciones de almacenamiento (temperatura y HR), más que por el almacenamiento.

Los compuestos asociados al aroma a fresco (butanoato de etilo y limoneno) mostraron diferencia tanto por temperatura como por tiempo de almacenamiento. Siendo el butanoato de etilo el que mostró la correlación más alta con el agrado general, lo que nos indica que este compuesto es relevante en el monitoreo de la calidad. El linalool y el alfa-terpineol no presentaron ningún cambio en ambos experimentos; sin embargo, para este último, esto podría deberse a las condiciones de almacenamiento de nuestro estudio, ya que se ha reportado un incremento de este compuesto en naranjas con tiempos de almacenamiento más prolongados y en condiciones de temperatura más bajas.

De forma concluyente la intensidad de los gustos dulce y ácido que percibieron los jueces por la naranja disminuyeron al final del almacenamiento, sin embargo, solo la acidez se vio afectado por el factor temperatura. La apariencia fresca, la firmeza sensorial, la brillantez y el agrado del color son atributos cuya percepción por los jueces varía por efecto de la temperatura y el tiempo de almacenamiento. Al evaluar el aroma, se observó que la temperatura de almacenamiento es el principal factor que impacta la percepción por los jueces del butanoato de etilo y limoneno. En conjunto, al evaluar el agrado en general se pudo identificar que a los jueces les deja de agradar los frutos en las últimas semanas de almacenamiento lo cual esta correlacionado fuertemente con los atributos de dulzor, acidez, firmeza sensorial, agrado del color y percepción del butanoato de etilo.

Con base en las anteriores características evaluadas, se lograron identificar los cambios en la calidad que sufre la naranja durante su almacenamiento y la relación con la percepción de un panel sensorial, estableciéndose una vida promedio de entre 20 a 24 días para naranja almacenada a 22°C y de 45 a 50 días para la almacenada a 11°C.

Con la información obtenida se puede comprobar que la textura analizada a través de la firmeza y el aroma influyen de forma importante en la percepción sensorial de la naranja. Por lo que se propone que la calidad de este cítrico puede ser monitoreada además de los parámetros ya establecidos en norma, a través de compuestos como el limoneno y butanoato de etilo así como por los cambios que presenta en sus propiedades físicas (textura y pérdida de peso).

11. Perspectivas

En este estudio se monitoreó la firmeza a través de la fuerza de compresión, pero existen otras pruebas (punción, corte, elasticidad etc) que podrían contribuir a conocer de forma más precisa el comportamiento de la firmeza que se ha considerado como importante cuando se ha evaluado sensorialmente en naranja Valencia.

La cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas es una técnica más sensible que identifica y cuantifica los componentes de una muestra que se encuentran en concentraciones menores, del orden de ppb y ppt, lo que permitiría identificar más componentes del aroma de la naranja fresca y que pudieran resultar buenos sensores de la vida comercial de esta fruta.

12. Bibliografía

- Agustí, M., (2010). *Fruticultura*, Madrid, España, Mundi-Prensa Libros, pág; 149-159.
- Aked, J., y Jongen, W. (2002). Maintaining the postharvest quality of fruits and vegetables. *Fruit and vegetable processing: improving quality*, 119-149.
- Arena, E., Guarrera, N., Campisi, S., y Asmundo, C. N. (2006). Comparison of odour active compounds detected by gas-chromatography–olfactometry between hand-squeezed juices from different orange varieties. *Food chemistry*, 98(1), 59-63.
- Artés, F., Minguetz, M. I., y Hornero, D. (2002). Analysing changes in fruit pigments. *Color in Foods*, 10, 248-282.
- Atkins, T. (2009). *The science and engineering of cutting: the mechanics and processes of separating, scratching and puncturing biomaterials, metals and non-metals*. Butterworth-Heinemann, pág; 283-306.
- Attaway, J. A., Wolford, R. W., Alberding, G. E., y Edwards, G. J. (1964). Orange essence analysis, identification of alcohols and volatile organic acids from natural orange essence. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 12(2), 118-121.
- Bai, J., Baldwin, E. A., McCollum, G., Plotto, A., Manthey, J. A., Widmer, W. W., ... y Cameron, R. (2016). Changes in volatile and non-volatile flavor chemicals of “Valencia” orange juice over the harvest seasons. *Foods*, 5(1), 4.
- Barreiro Elorza, P., Ruiz-Altisent, M., y Steinmetz, V. (1995). Modelos de predicción de daños en fruta y sistemática para la evaluación de equipos hortofrutícolas. *Fruticultura profesional*, (73), 40-56.
- Belitz, H. D., y Grosch, W., (2004). *Food chemistry 'Aroma compounds.'* in, *Food Chemistry*, Springer.
- Bello, F., Eyma L., Almirón N., Cocco A. y Torres F.. '*Cartillas para determinar el índice de color de mandarinas y naranjas*', Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria-Centro Regional Entre Ríos-Estación Experimental Agropecuaria Concordia.
- Berger, R. G. (Ed.). (2007). *Flavours and fragrances: chemistry, bioprocessing and sustainability*. Springer Science & Business Media.
- Bergström, G., Rothschild, M., Groth, I., & Crighton, C. (1994). Oviposition by butterflies on young leaves: investigation of leaf volatiles. *Chemoecology*, 5(3), 147-158.
- Bosquez, E., C. Pelayo y Yáñez M. L. (2015). '*Estudios fisiológicos y tecnología poscosecha de frutas y hortalizas*', Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, CDMX, México.

- Brat, P., Ollé, D., Gancel, A. L., Reynes, M., & Brillouet, J. M. (2001). Essential oils obtained by flash vacuum-expansion of peels from lemon, sweet orange, mandarin and grapefruit. *Fruits*, 56(6), 395-402.
- Brat, P., Rega, B., Alter, P., Reynes, M., & Brillouet, J. M. (2003). Distribution of volatile compounds in the pulp, cloud, and serum of freshly squeezed orange juice. *Journal of agricultural and food chemistry*, 51(11), 3442-3447.
- Bylaite, E., & Meyer, A. S. (2006). Characterisation of volatile aroma compounds of orange juices by three dynamic and static headspace gas chromatography techniques. *European food research and technology*, 222(1-2), 176.
- Cáceres, I., Mulkay, T., Rodríguez, J., & Paumier, A. (2006). Conservación de productos hortofrutícolas. Recuperado de <http://www.fao.org/docs/eims/upload/cuba/5012/cuf0127s.pdf> (Octubre de 2014).
- Camarena, F., Martínez-Mora, J. A., y Ardid, M. (2007). Ultrasonic study of the complete dehydration process of orange peel. *Postharvest biology and technology*, 43(1), 115-120.
- Castellanos, D. A., y Algecira, N. A. (2012). Modelling change in color and firmness of baby banana (*Musa acuminata* AA) in modified atmosphere packaging. *Agronomía Colombiana*, 30(1), 84-94.
- Carmona, L., Zacarías, L., y Rodrigo, M. J. (2012). Stimulation of coloration and carotenoid biosynthesis during postharvest storage of 'Navelina' orange fruit at 12 C. *Postharvest Biology and Technology*, 74, 108-117.
- Coulter, T. P. (2009). *Food: the chemistry of its components*. Royal Society of Chemistry. pág; 214-227
- de León-Sánchez, F. D., Pelayo-Zaldívar, C., Rivera-Cabrera, F., Ponce-Valadez, M., Ávila-Alejandre, X., Fernández, F. J., ... y Pérez-Flores, L. J. (2009). Effect of refrigerated storage on aroma and alcohol dehydrogenase activity in tomato fruit. *Postharvest biology and technology*, 54(2), 93-100. ISO 690
- Diezma, B., Marañón, A., Ruiz Altisent, M., Flores, L., y Diez, J. (2001). Firmeza de la fruta: determinación por métodos no destructivos. *Horticultura*, 154, 1-7.
- Durán, L., y Costell, E. (1999). Revision: Percepción del gusto. Aspectos fisicoquímicos y psicofísicos/Review: Perception of taste. Physiochemical and psychophysical aspects. *Revista de Agarquímica y Tecnología de Alimentos*, 5(4), 299-309.
- Echeverría, G., Graell, J., López, L., & Lara, I. (2008). La calidad organoléptica de la fruta. *Horticultura Internacional*, 61, 26-36.
- Enríquez, G. C. (1994). *Atlas agropecuario de Costa Rica*. Euned., pág; 169.

- Fan, G., Qiao, Y., Yao, X., Mo, D., Wang, K., y Pan, S. (2009). Free and bound volatile compounds in juice and peel of Jincheng oranges. *European Food Research and Technology*, 229(4), 571-578.
- Fernández-Vázquez, R., Stinco C. M., Meléndez-Martínez, A J., Heredia F. J. e Vicario, I. M., (2011). 'Visual and Instrumental Evaluation of Orange Juice Color: A Consumers' Preference Study', *Journal of Sensory Studies*, 26(6), 436-44.
- Geilfus, Frans. 1994. *El árbol al servicio del agricultor: Guía de especies* (Bib. Orton IICA/CATIE), pág; 273-275.
- Harker, F. R., y Johnston, J. W. (2008). Importance of texture in fruit and its interaction with flavour. *Fruit and vegetable flavour: Recent advances and future prospects*, 7, 254-271.
- Harker, F. R., Marsh, K. B., Young, H., Murray, S. H., Gunson, F. A., & Walker, S. B. (2002). Sensory interpretation of instrumental measurements 2: sweet and acid taste of apple fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 24(3), 241-250.
- Hinterholzer, A., y Schieberle, P. (1998). Identification of the most odour-active volatiles in fresh, hand-extracted juice of Valencia late oranges by odour dilution techniques. *Flavour and Fragrance Journal*, 13(1), 49-55.
- Huang, Yiqun, Barbara A. Rasco, and Anna G. Cavinato. 2009. 'Chapter 13 - Fruit Juices A2 - Sun, Da-Wen.' in, *Infrared Spectroscopy for Food Quality Analysis and Control* (Academic Press: San Diego).
- Kader, A. A. (2008). Flavor quality of fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(11), 1863-1868.
- Kelebek, H., y Selli, S. (2011). Determination of volatile, phenolic, organic acid and sugar components in a Turkish cv. Dortyol (Citrus sinensis L. Osbeck) orange juice. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(10), 1855-1862.
- Kimball, D. A. (1999). *Procesado de cítricos* (No. 664.804304 K49p). Zaragoza, ES: Acribia., pág; 203-250.
- Klimczak, I., y Malecka, M. (2011). 'Evaluation of Sensory Profile and P-Vinylguaiacol (Pvg) Content in Orange Juices during Storage at Different Temperature'. *Journal of Food Quality*, 34(1), 30-39.
- Kong, F., y Singh, R. P. (2011). Chemical deterioration and physical instability of foods and beverages. *Food and beverage stability and shelf life*. Woodhead Publishing, Cambridge, 29-62.
- Ladanyia, M., y Ladaniya, M. (2010). *Citrus fruit: biology, technology and evaluation*. Academic press., pág;103-118, 125-131, 475-495
- Maccarone, E., Campisi, S., Fallico, B., Rapisarda, P., & Sgarlata, R. (1998). Flavor components of Italian orange juices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(6), 2293-2298.

- Macías, D. 2015. 'Atributos de calidad y compuestos volátiles como indicadores de senescencia en naranja (*Citrus sinensis*) variedad Valencia cultivada en sistemas convencional y orgánico' (tesis de maestría). Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, CDMX, México.
- Marcilla, A., Zarzo, M., & Del Río, M. A. (2006). Effect of storage temperature on the flavour of citrus fruit. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 4(4), 336-344.
- Marin, A. B., Acree, T. E., Hotchkiss, J. H., & Nagy, S. (1992). Gas chromatography-olfactometry of orange juice to assess the effects of plastic polymers on aroma character. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40(4), 650-654.
- McCalley, D. V., y Torres-Grifol, J. F. (1992). Analysis of volatiles from oranges in good and bad condition by gas chromatography and gas chromatography-mass spectrometry. *Analyst*, 117(4), 721-725.
- McKenna, B. M. (Ed.). (2004). *Texture in food: Solid foods* (Vol. 2). Woodhead Publishing.
- Menesatti, P., Pallottino, F., Lanza, G., y Paglia, G. (2009). Prediction of blood orange MT firmness by multivariate modelling of low alternative penetrometric data set: A preliminary study. *Postharvest biology and technology*, 51(3), 434-436.
- Montevecchi, G., Simone, G. V., Mellano, M. G., Masino, F., y Antonelli, A. (2013). Fruit sensory characterization of four Pescabivona, white-fleshed peach [*Prunus persica* (L.) Batsch], landraces and correlation with physical and chemical parameters. *Fruits*, 68(3), 195-207.
- Mziou, S., Scheerlinck, N., & Nicolăi, B. M. (2009). Study and modelling of two apple quality attributes: the soluble solids content and the firmness. *Mathematical and computer modelling of dynamical systems*, 15(4), 317-336.
- Nisperos-Carriedo, M. O., y Shaw, P. E. (1990). Comparison of volatile flavor components in fresh and processed orange juices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 38(4), 1048-1052.
- Nisperos-Carriedo, M. O., Shaw, P. E., y Baldwin, E. A. (1990). Changes in volatile flavor components of pineapple orange juice as influenced by the application of lipid and composite films. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 38(6), 1382-1387.
- Njoroge, S. M., Koaze, H., Karanja, P. N., y Sawamura, M. (2005). Essential oil constituents of three varieties of Kenyan sweet oranges (*Citrus sinensis*). *Flavour and fragrance journal*, 20(1), 80-85.
- Obenland, D., Collin, S., Mackey, B., Sievert, J., & Arpaia, M. L. (2011). Storage temperature and time influences sensory quality of mandarins by altering soluble solids, acidity and aroma volatile composition. *Postharvest biology and technology*, 59(2), 187-193.
- Obenland, D., Collin, S., Mackey, B., Sievert, J., Fjeld, K., y Arpaia, M. L. (2009). Determinants of flavor acceptability during the maturation of navel oranges. *Postharvest Biology and Technology*, 52(2), 156-163.

- Obenland, D., Collin, S., Sievert, J., Fjeld, K., Doctor, J., y Arpaia, M. L. (2008). Commercial packing and storage of navel oranges alters aroma volatiles and reduces flavor quality. *Postharvest biology and technology*, 47(2), 159-167.
- Olmo, M., Nadas, A., y García, J. M. (2000). Nondestructive methods to evaluate maturity level of oranges. *Journal of Food Science*, 65(2), 365-369.
- Organización Mundial de la Salud-Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.. (2007).. 'Codex Alimentarius-Frutas y Hortalizas'.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2015). 'Citrus Fruit Statistics 2015'.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2016). 'Atlas Agroalimentario'.
- Ortiz, O. y A. Torregrosa. (2013). 'Propiedades físicas de los cítricos destinados al consumo fresco según las condiciones de almacenamiento relacionadas con su manejo mecánico'. VII Congreso Ibérico de Agroingeniería y Ciencias Hortícolas. Universidad Politécnica de Valencia.
- Papadakis, I. E., Protopapadakis, E. E., & Therios, I. N. (2008). Yield and fruit quality of two late-maturing Valencia orange tree varieties as affected by harvest date. *Fruits*, 63(6), 327-334.
- Peleg, H., Naim, M., Zehavi, U., Rouseff, R. L., y Nagy, S. (1992). Pathways of 4-vinylguaiacol formation from ferulic acid in model solutions of orange juice. *Journal of agricultural and food chemistry*, 40(5), 764-767.
- Perera, C. O y Bronwen S. (2013). 'Technology of processing of Horticultural crops', *Handbook of farm, dairy, and food machinery engineering. Academic Press, Cambridge, MA*: 259-315.
- Perez-Cacho, P. R., & Rouseff, R. L. (2008). Fresh squeezed orange juice odor: a review. *Critical*.
- Perez-Locas, C., y Yaylayan, V. A. (2010). The Maillard reaction and food quality deterioration. *Chemical deterioration and physical instability of food and beverages*, 70-94.
- Pérez-López, A. J., Saura, D., Lorente, J., & Carbonell-Barrachina, Á. A. (2006). Limonene, linalool, α -terpineol, and terpinen-4-ol as quality control parameters in mandarin juice processing. *European food research and technology*, 222(3-4), 281-285.
- Purvis, A. C. (1983). Moisture loss and juice quality from waxed and individually seal-packaged citrus fruits. In *Proc. Fla. State Hortic. Soc* (Vol. 96, pp. 327-329).
- Qiao, Y., Xie, B. J., Zhang, C., Fan, G., & Pan, S. Y. (2010). Comparison of volatile compounds and chemical and physical properties in orange juice from different parts of Jincheng fruit. *Journal of food quality*, 33(2), 165-180.

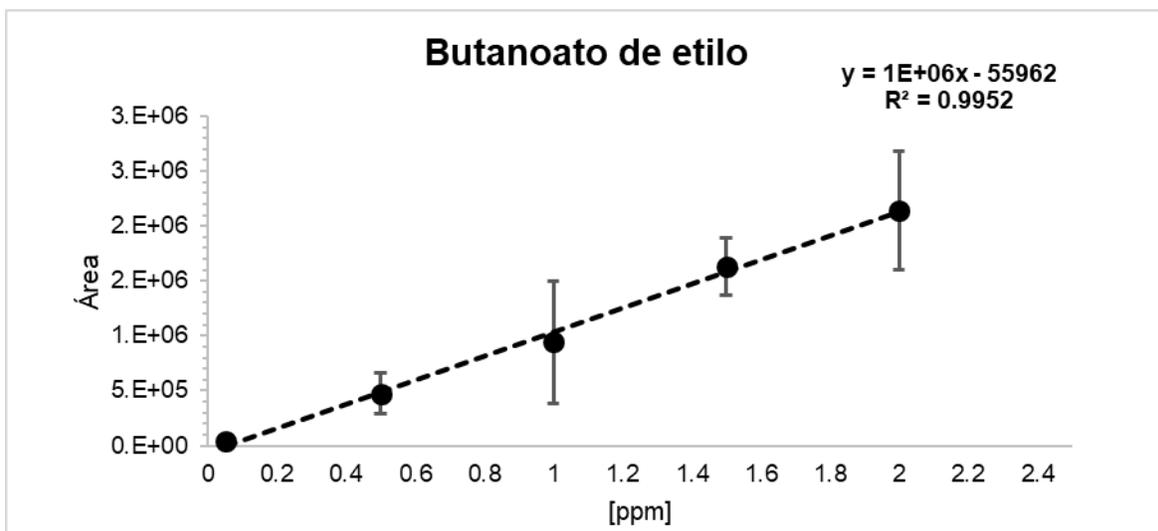
- Qiao, Y., Xie, B. J., Zhang, Y., Zhang, Y., Fan, G., Yao, X. L., & Pan, S. Y. (2008). Characterization of aroma active compounds in fruit juice and peel oil of Jincheng sweet orange fruit (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) by GC-MS and GC-O. *Molecules*, 13(6), 1333-1344.
- Qiu, S., y Wang, J. (2015). Application of Sensory Evaluation, HS-SPME GC-MS, E-Nose, and E-Tongue for Quality Detection in Citrus Fruits. *Journal of food science*, 80(10).
- Rapisarda, P., Bellomo, S. E., y Intelisano, S. (2001). Storage temperature effects on blood orange fruit quality. *Journal of agricultural and food chemistry*, 49(7), 3230-3235.
- Rodríguez, A., Peris, J. E., Redondo, A., Shimada, T., Costell, E., Carbonell, I., ... & Peña, L. (2017). Impact of D-limonene synthase up-or down-regulation on sweet orange fruit and juice odor perception. *Food chemistry*, 217, 139-150.
- Rouseff, R. L., Ruiz Perez-Cacho, P., & Jabalpurwala, F. (2009). Historical review of citrus flavor research during the past 100 years. *Journal of agricultural and food chemistry*, 57(18), 8115-8124.
- Ruiz Perez-Cacho, P., Mahattanatawee, K., Smoot, J. M., & Rouseff, R. (2007). Identification of sulfur volatiles in canned orange juices lacking orange flavor. *Journal of agricultural and food chemistry*, 55(14), 5761-5767.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA)-Corporación para el Desarrollo Agropecuario de Nuevo León (2015). 'Citricultura-Situación de la citricultura en nuevo León'
- Secretaría de Economía. Norma Oficial Mexicana (NMX-ff-027-scfi-2007)-Productos alimenticios no industrializados para consumo humano-fruta fresca-naranja (*Citrus sinensis* Osbeck)-especificaciones (cancela a la NMX-FF-027-1995-SCFI). <http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/2007/nmx-ff-027-scfi-2007.pdf>
- Salvador, A., P. Navarro y Martínez-Jávega J.M. (2007). 'Tecnología postcosecha de cítricos', XI *Seminario Internacional de citricultura "La citricultura mexicana en el siglo XXI"*. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias-Centro de Tecnología Postcosecha.
- Shamloo, M. M., Sharifani, M., Garmakhany, A. D., & Seifi, E. (2015). Alternation of secondary metabolites and quality attributes in Valencia Orange fruit (*Citrus sinensis*) as influenced by storage period and edible covers. *Journal of food science and technology*, 52(4), 1936-1947.
- Shaw, P. E. (1979). Review of quantitative analyses of citrus essential oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 27(2), 246-257.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2013). 'Reporte especial de naranja'. [http://infosiap.siap.gob.mx/images/stories/infogramas/reportes_citricos.pdf]
- Singh, K. K., y Reddy, B. S. (2006). Post-harvest physico-mechanical properties of orange peel and fruit. *Journal of food engineering*, 73(2), 112-120.

- Singhal, Rekha S, PK Kulkarni y DV Reg. (1997.) *Handbook of indices of food quality and authenticity* (Elsevier). pág; 77-119.
- Slaughter, D. C. (2009). Evaluación de métodos no destructivos para la detección de la madurez en Mangos: Revisión bibliográfica e identificación de las necesidades de investigación a futuro. Biological and Agricultural Engineering-University of California, Davis
- Stangl, A. y Ziegler. H. (2013). *Flavour Science : Proceedings from XIII Weurman Flavour Research Symposium*. Saint Louis, US: Academic Press. Retrieved from <http://www.ebrary.com>
- Sun, H., Ni, H., Yang, Y., Wu, L., Cai, H. N., Xiao, A. F., & Chen, F. (2014). Investigation of sunlight-induced deterioration of aroma of pummelo (*Citrus maxima*) essential oil. *Journal of agricultural and food chemistry*, 62(49), 11818-11830.
- Velkov, N., y Pevicharova, G. (2016). Effects of cucumber grafting on yield and fruit sensory characteristics. *Žemdirbystė (Agriculture)*, 103(4), 405-410.
- Vidal, A., Talens, P., Prats-Montalbán, J. M., Cubero, S., Albert, F., & Blasco, J. (2013). In-line estimation of the standard colour index of citrus fruits using a computer vision system developed for a mobile platform. *Food and Bioprocess Technology*, 6(12), 3412-3419.
- Williams, K. R., y Pierce, R. E. (1998). The Analysis of Orange Oil and the Aqueous Solubility of d-Limonene. Two Complementary Gas Chromatography Experiments. *Journal. Chemistry. Education*, 75(2), 223.
- Wu, G. A., Prochnik, S., Jenkins, J., Salse, J., Hellsten, U., Murat, F., ... y Takita, M. A. (2014). Sequencing of diverse mandarin, pummelo and orange genomes reveals complex history of admixture during citrus domestication. *Nature biotechnology*, 32(7), 656-662.

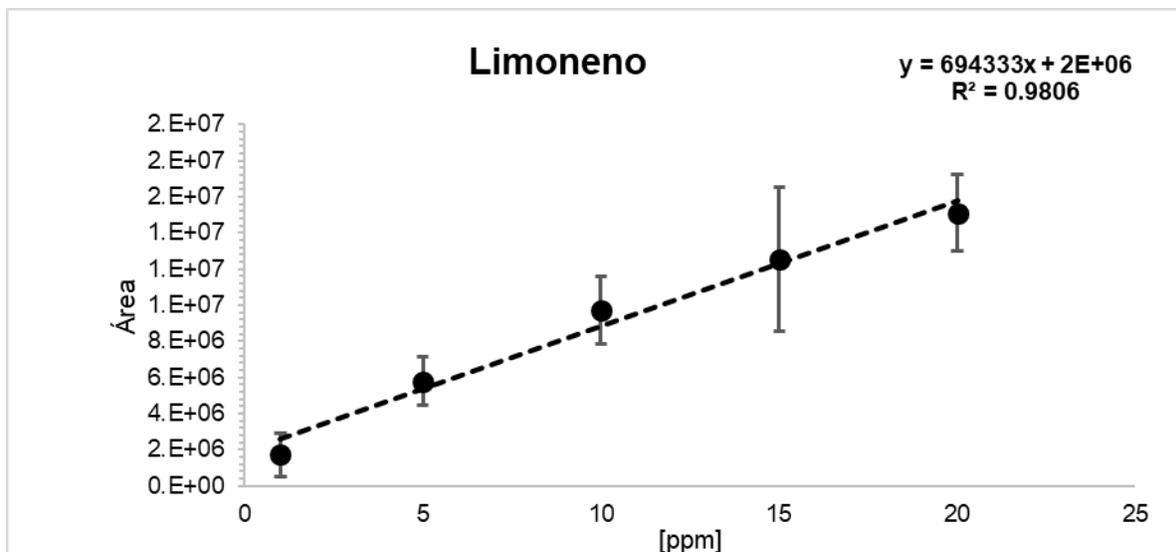
13. Anexos

Anexo A. Curvas estándar

Anexo 1. Butanoato de etilo

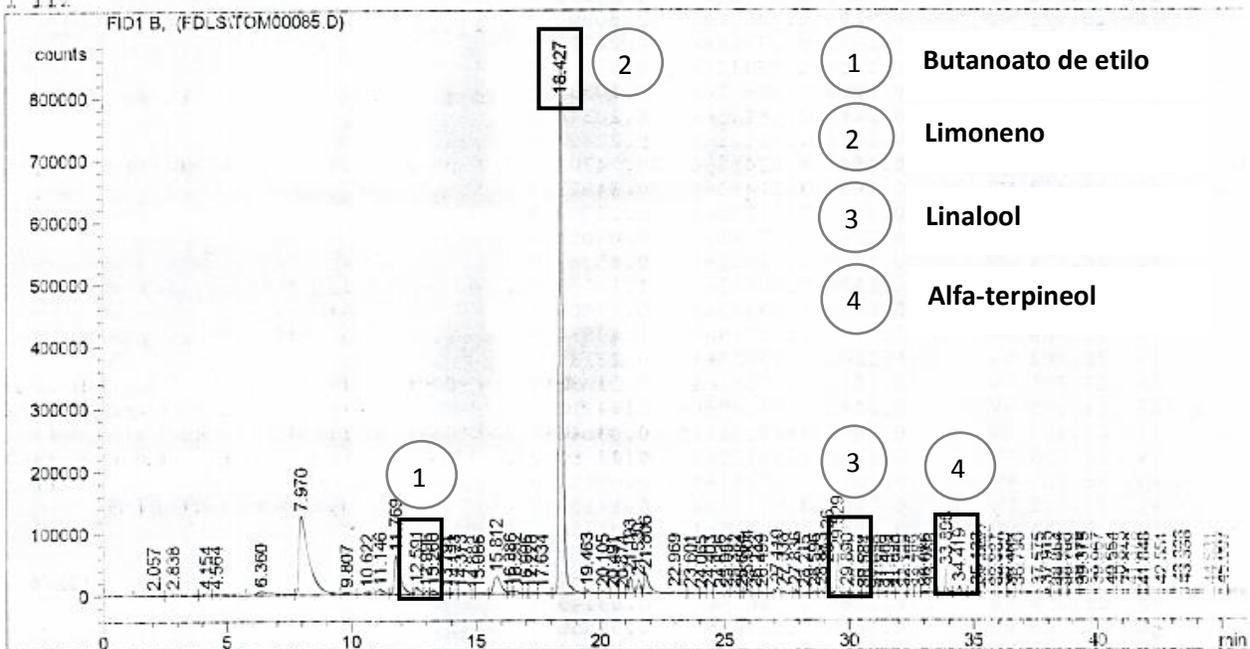


Anexo 2. Limoneno



Anexo B. Cromatograma de los compuestos identificados por tiempo de retención en jugo de naranja 'Valencia'.

Injection Date : 25/09/16 11:18:31 p.m.
 Sample Name : CurvaStd Location : Vial 1
 Acq. Operator : CCERV Inj Volume : Manually
 Acq. Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\DIANA.M
 Last changed : 21/09/16 06:23:50 a.m. by CCERV
 Analysis Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\DIANA.M
 Last changed : 20/10/16 06:14:45 a.m. by CCERV
 1.liz



Anexo C. Imágenes de muestras de naranja que manifestaron daño por microorganismos durante su almacenamiento comparadas con lo reportado en la literatura.



Anexo C.I. Naranja afectada por *Alternaria alternata* (Fr.) Keissler, *Alternaria citri* Ell. y Pierce, *Penicillium digitatum* Sacc. y *Penicillium italicum* Wehmer Snowdon Anna L., (1990)



Anexo C.II. Naranja afecta por *Alternaria alternata* (Fr.) Keissler, *Alternaria citri* Ell. y Pierce, *Penicillium digitatum* Sacc., *Penicillium italicum* Wehmer

Anexo D. Cuestionarios aplicados en las pruebas sensoriales

Anexo D. I. Cuestionario aplicado en el experimento I



Nombre: _____ Fecha: _____

Instrucciones

Retire lentamente la tapa del envase y huela, no pele ni maltrate la naranja. En las siguientes escalas marque con una línea según su preferencia y escriba el código que le corresponda a cada muestra.

En la parte correspondiente a sabor se le dará una naranja partida en cuartos, marque como se le indicó en la parte anterior.

OLOR

Fresco

Menos de lo
que esperaba

Justo como
lo
esperaba

Más de lo
que esperaba

Envejecido

Menos de lo
que esperaba

Justo como
lo
esperaba

Más de lo
que esperaba

Apariencia

Fresco

Menos de lo
que esperaba

Justo como
lo
esperaba

Más de lo
que esperaba

Envejecido

Menos de lo
que esperaba

Justo como
lo
esperaba

Más de lo
que esperaba

Textura

Firmeza

Menos de lo
que esperaba

Justo como
lo
esperaba

Más de lo
que esperaba

Sabor

Acidez

Menos de lo
que esperaba

Justo como
lo
esperaba

Más de lo
que esperaba

Dulzor

Menos de lo
que esperaba

Justo como
lo
esperaba

Más de lo
que esperaba

Frescura

Menos de lo
que esperaba

Justo como
lo
esperaba

Más de lo
que esperaba

Envejecido

Menos de lo
que esperaba

Justo como
lo
esperaba

Más de lo
que esperaba

Agrado en general

Extremadamente
desagradable

Ni me agrada ni
me desagrada

Extremadamente
agradable

Anexo D. II. Cuestionario aplicado en el experimento II



Universidad Autónoma
Metropolitana

Fecha: / / /
 D M A

Nombre: _____

Instrucciones

Se te presentan dos muestras, huele el jugo y marca con una “X” cual es igual a la referencia. Después anota cual muestra tiene más para cada compuesto (solo si lo detectas en las muestras) y califica en la escala las intensidades de los compuestos que detectes colocando los códigos de cada muestra.

380	
924	

380	
924	

Alfa-terpineol

Ausente

Máxima intensidad

380	
924	

Furaneol

Ausente

Máxima intensidad

380	
924	

Limoneno

Ausente

Máxima intensidad

380	
924	

Linalool

Ausente

Máxima intensidad

380	
924	

Butanoato de etilo

Ausente

Máxima intensidad

Por último, se te presentan dos muestras de naranja enteras evalúa los atributos marcados usando la misma escala, coloca los códigos de cada muestra.

Firmeza

0	15
---	----

Brillantez

0	15
---	----

Apariencia fresca

0	15
---	----

Agrado del color

0	15
---	----

Dulzor

0	15
---	----

Acidez

0	15
---	----

Agrado en general

0	15
---	----

