



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLÁN**

**COMPORTAMIENTO POSTCOSECHA DEL XOCONOSTLE  
(OPUNTIA JOCONOSTLE WEBER) EN DOS DIFERENTES  
PUNTOS DE CORTE DURANTE SU MADURACIÓN A  
TEMPERATURA AMBIENTE**

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERA EN ALIMENTOS  
P R E S E N T A:**

**MARISOL VALDEZ GARCÍA**

**ASESORAS: IBQ. LETICIA FIGUEROA VILLARREAL  
DRA. ALMA VIRGINIA LARA SAGAHON**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todos aquellos que han contribuido en mi formación personal y profesional, por brindarme su cariño y confianza; gracias por creer en mi y permitirme ser parte de su vida.

A la **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO** por darme las herramientas necesarias durante éstos últimos años para la culminación de mi carrera. Me siento orgullosa de portar la camiseta y haber sido parte de ésta institución.

A ti **Sra. Fela** por haberme dado la vida y soportarme cada día, por dejarme ser como soy, por estar conmigo cada que te necesito. Te quiero **mami**.

Al **Sr. Hugo** por ayudarme implícitamente a madurar y crecer como persona, aunque no lo creas he aprendido mucho de ti. Gracias **pa!!!**

**Lucy** por ser además de mi hermana – y mí psicóloga de cabecera – una gran amiga, por compartir momentos importantes de nuestras vidas. Gracias por el apoyo moral.

**Fely** agradezco el que casi me hayas adoptado como una más de tus hijas, por preocuparte acerca de lo que me pasa y haberme demostrado que también en ti puedo confiar.

**Jenny** te adoro por ocupar el papel de mi hermanita menor, por permitirme mostrarte y enseñarte parte de mis experiencias e interesarte por todo lo que hago.

**Mely** por ser la pequeña que nos hace más llevadera la vida, por hacernos reír en los momentos menos pensados.

Todo mi afecto y admiración para mis asesoras, ya que sin ellas hubiera sido imposible cerrar éste ciclo tan importante en mi vida.

**Maestra Lety** muchísimas gracias por haberme ofrecido gran parte de su tiempo y dedicación para la culminación de éste trabajo.

**Maestra Viqui** no sólo por el análisis estadístico, sino también por brindarme total disposición e interés éste último año. MIL GRACIAS!!!

**Maestra Sandra** por compartirme sus puntos de vista durante mi estancia en el Laboratorio de Ciencia y Tecnología de Alimentos.

A los miembros del jurado – Profesores **Beristain, Saturnino, Enrique y Miriam** – por su intervención en la revisión y mejora de éste proyecto.

**Juanita** no tengo palabras para agradecerte todo el apoyo brindado, créeme que sin tu colaboración no hubiese podido llegar a éste momento tan rápido. GRACIAS.

**Carlos Ávila** por darme la oportunidad de crecer personal y profesionalmente, además de permitirme estar al tanto de mi proceso de titulación durante los últimos meses. Gracias a ti y a **BIMBO**.

A mis **AMIGOS** quiero expresarles todo mi cariño, y decirles que me siento muy dichosa de haberlos conocido pero sobre todo me siento plena por que se que continúan a mi lado.

**Marquitos, Adrianita, Lauris y Lilianita** espero que sigamos viviendo muchas experiencias juntos como las del inolvidable CCH.

**Luis y Campanita** por ser mis incondicionales y porque sin ustedes no hubiera podido formar ese triangulo amistoso de la universidad, saben lo mucho que LOS QUIERO.

**Emmanuel, Karen, Elizabeth, Kin, Cipa, Abril, Diana** no se si agradecerles a ustedes o al centro de idiomas pues fue por el que nos conocimos, cada que puedo me acuerdo de ustedes y de los momentos tan amenos que pasamos.

**Marlen, Dianita, Juancho, Clau, Alberto, Brenda, Yami, Naye, Mari, Sindi, Alets, Jessy, Nohemí, Irakcy, Sandra, Amy** tengan por seguro que el tiempo vivido con ustedes jamás lo olvidaré, he aprendido mucho de ustedes gracias por estar conmigo cada que los necesito.

Mis muy queridos amigos de la sala de cómputo **Carlos, Javier y Miguel** gracias por el servicio recibido así como también las charlas y el entretenimiento brindado en los momentos más estresantes. Ya ven chicos no se me olvidó!!!

Y por supuesto no pueden faltar los **ASBEREDITE´s** Cynthia, Rodrigo, Ivan, Dulce y Marisol; jamás imaginé que en mi primer trabajo podría encontrar a seres tan maravillosos como ustedes, gracias por su paciencia, tengo la confianza en que esto que iniciamos perdurará por mucho tiempo.

Por último quiero agradecer a todos los **26´s**, además de algunos **27´s** y **28´s** que me conocen a mis **profesores, familiares, compañeros** por ayudarme a vivir aquí y ahora.

**!!!GRACIAS POR TODO LOS QUIERO MUCHO!!!**

## ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN</b> .....	<b>I</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>II</b>
<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I. GENERALIDADES</b> .....	<b>3</b>
<b>1.1 Xoconostle</b> .....	<b>4</b>
<b>1.1.1</b> Antecedentes.....	<b>4</b>
<b>1.1.2</b> Origen .....	<b>5</b>
<b>1.1.3</b> Producción.....	<b>5</b>
<b>1.1.3.1</b> Xoconostle en el estado de Hidalgo .....	<b>6</b>
<b>1.1.4</b> Comercialización.....	<b>7</b>
<b>1.1.5</b> Estructura y fisiología.....	<b>8</b>
<b>1.1.5.1</b> Variedades.....	<b>8</b>
<b>1.1.6</b> Cosecha.....	<b>9</b>
<b>1.1.7</b> Pérdidas postcosecha .....	<b>9</b>
<b>1.1.7.1</b> Deterioro fisiológico.....	<b>10</b>
<b>1.1.7.2</b> Daños mecánicos (lesiones físicas).....	<b>10</b>
<b>1.1.7.3</b> Plagas .....	<b>10</b>
<b>1.1.8</b> Composición química.....	<b>11</b>
<b>1.1.9</b> Aporte nutritivo .....	<b>11</b>
<b>1.1.10</b> Usos alimenticios .....	<b>11</b>
<b>1.2 Fisiología de la postrecolección</b> .....	<b>12</b>
<b>1.2.1</b> Índices para cosecha .....	<b>12</b>
<b>1.2.2</b> Desarrollo fisiológico.....	<b>13</b>
<b>1.2.3</b> Valoración de la calidad.....	<b>13</b>
<b>1.2.3.1</b> Criterios de calidad.....	<b>13</b>
<b>a)</b> Aspecto.....	<b>13</b>
<b>b)</b> Condiciones y defectos .....	<b>14</b>
<b>c)</b> Textura y aroma.....	<b>14</b>
<b>d)</b> Valor nutritivo .....	<b>15</b>
<b>1.2.3.2</b> Factores posteriores a la recolección que influyen en la calidad .....	<b>15</b>

1.2.4	Maduración y grado de madurez .....	15
1.2.4.1	Determinación de la madurez comercial .....	16
1.2.5	Respiración y periodo climatérico respiratorio .....	16
1.2.5.1	Factores que afectan la respiración .....	18
1.2.5.2	Alteraciones de la respiración en diversos frutos .....	19
1.2.5.3	El climaterio .....	19
1.2.5.4	Efectos del etileno .....	21
<b>1.3</b>	<b>Cambios físicos y químicos ocurridos durante la maduración .....</b>	<b>22</b>
1.3.1	Forma y tamaño .....	22
1.3.2	Color.....	22
1.3.3	Aroma.....	22
1.3.4	Consistencia .....	22
1.3.5	Sólidos solubles .....	23
1.3.6	pH y acidez .....	23
1.3.7	Carbohidratos.....	23
1.3.8	Ácidos orgánicos.....	23
1.3.9	Compuestos nitrogenados.....	24
1.3.10	Compuestos fenólicos .....	24
1.3.11	Características eléctricas .....	25
1.3.12	Actividad respiratoria .....	25
<b>1.4</b>	<b>Métodos de medición.....</b>	<b>26</b>
1.4.1	<b>Color .....</b>	<b>26</b>
1.4.1.1	Definición .....	26
1.4.1.2	Escalas de color .....	29
1.4.1.3	Sistema Munsell .....	29
1.4.1.4	Sistema Ostwald.....	30
1.4.1.5	Sistema CIE (Comisión internacional de iluminación).....	31
1.4.1.6	Espacio de color L*a*b* .....	32
1.4.1.7	Escalas de color Hunter .....	33
1.4.1.8	Espacio de color L*C*h* .....	34
1.4.2	<b>Textura .....</b>	<b>35</b>
1.4.2.1	Evaluación de la textura por métodos sensoriales .....	36
1.4.2.2	Evaluación de la textura mediante técnicas instrumentales .....	36
1.4.2.3	Pruebas de penetración .....	38

<b>1.4.3</b>	<b>Actividad de agua</b> .....	<b>39</b>
<b>1.4.4</b>	<b>Definición</b> .....	<b>39</b>
<b>1.4.4.1</b>	Factores que la afectan .....	41
<b>1.4.4.2</b>	Influencia en otras propiedades del alimento.....	41
<b>1.4.4.3</b>	Clasificación de los métodos de medida de la actividad de agua .....	42
<b>1.4.4.4</b>	Teoría del espejo enfriado.....	43
<b>1.4.4.5</b>	Teoría del sensor de capacitancia .....	44
<b>1.4.5</b>	<b>Conductividad eléctrica</b> .....	<b>43</b>
<b>1.4.5.1</b>	Definición .....	45
<b>1.4.5.2</b>	Diferentes formas de expresar la conductividad eléctrica.....	45
<b>1.4.5.3</b>	Medición de la conductividad eléctrica .....	46
<b>1.4.5.4</b>	Instrumentos de medición.....	47
<b>1.4.6</b>	<b>Intensidad respiratoria</b> .....	<b>48</b>
<b>1.4.6.1</b>	Definición .....	48
<b>1.4.6.2</b>	Medición de la respiración .....	49
<b>1.4.6.3</b>	Métodos de medición .....	50
<b>a)</b>	Analizador de gases Orsay .....	50
<b>b)</b>	Cromatografía gaseosa con detector de conductividad térmica.....	50
<b>c)</b>	Colorimetría.....	50
<b>d)</b>	Analizador de infrarrojos .....	51
<b>e)</b>	Analizadores paramagnéticos.....	51
<b>f)</b>	Por cromatografía de gases con detección por ionización de llama.....	51
<b>g)</b>	Dispositivo de pettenkoffer .....	51
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA</b> .....	<b>52</b>	
<b>2.1</b>	<b>Cuadro metodológico</b> .....	<b>53</b>
<b>2.2</b>	<b>Metodología experimental</b> .....	<b>54</b>
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS Y ANÁLISIS</b> .....	<b>59</b>	
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>76</b>	
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>80</b>	
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>83</b>	
<b>ANEXOS</b> .....	<b>89</b>	

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.</b> Nopalera de <i>Opuntia joconostle weber</i> .....	<b>6</b>
<b>FIGURA 2.</b> Canales de comercialización del xoconostle.....	<b>8</b>
<b>FIGURA 3.</b> Partes constituyentes de la <i>Opuntia Imbricata / Opuntia joconostle Weber</i> .....	<b>8</b>
<b>FIGURA 4.</b> Patrón de la tasa respiratoria de un fruto Climatérico y uno no climatérico durante el desarrollo, maduración y senescencia. ....	<b>20</b>
<b>FIGURA 5.</b> Estructuras de las clorofilas a y b.....	<b>28</b>
<b>FIGURA 6.</b> Vías de degradación de las clorofilas a y b. ....	<b>29</b>
<b>FIGURA 7.</b> Sistema ajustado de coordenadas de color del sistema Ostwald.....	<b>31</b>
<b>FIGURA 8.</b> Coordenadas de cromaticidad Y, x, y. ....	<b>32</b>
<b>FIGURA 9.</b> A) Cromaticidad y luminosidad, B) Diagrama de cromaticidad a* y b*.....	<b>33</b>
<b>FIGURA 10.</b> Sólido tridimensional. ....	<b>34</b>
<b>FIGURA 11.</b> Colorímetro Minolta. ....	<b>35</b>
<b>FIGURA 12.</b> Fuerzas empleadas para análisis de textura en alimentos a) cizalla, b) compresión, c) extrusión, d) penetración, e) flujo. ....	<b>37</b>
<b>FIGURA 13.</b> Penetrómetro Humboldt.....	<b>39</b>
<b>FIGURA 14.</b> Aqualab Modelo CX – 2. ....	<b>44</b>
<b>FIGURA 15.</b> Conductímetro de placas. ....	<b>47</b>
<b>FIGURA 16.</b> Conductímetro. ....	<b>48</b>
<b>FIGURA 17.</b> Dispositivo de Pettenkoffer .....	<b>51</b>
<b>FIGURA 18.</b> Zonas de medición del diámetro ecuatorial y longitudinal del xoconostle. ....	<b>54</b>
<b>FIGURA 19.</b> Zonas de medición de color en el xoconostle. ....	<b>56</b>
<b>FIGURA 20.</b> Zonas de medición de textura en el xoconostle.....	<b>57</b>
<b>FIGURA 21.</b> Cambios físicos de xoconostle cosechado en dos estadios durante su maduración en condiciones ambientales.....	<b>66</b>
<b>FIGURA 22.</b> Componentes del colorímetro Minolta CR – 300. ....	<b>96</b>
<b>FIGURA 23.</b> Penetrómetro Humboldt.....	<b>97</b>
<b>FIGURA 24.</b> Analizador de humedad halógeno MB-45. ....	<b>100</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA 1.</b> Producción de Xoconostle.....	<b>6</b>
<b>TABLA 2.</b> Composición química del Xoconostle.....	<b>10</b>
<b>TABLA 3.</b> Clasificación de algunos frutos comestibles de acuerdo con el comportamiento de su respiración durante la maduración organoléptica (Barret, 2005).....	<b>21</b>
<b>TABLA 4.</b> Enzimas que influyen en la calidad de los frutos y vegetales (Barret, 2005).....	<b>24</b>
<b>TABLA 5.</b> Clasificación de las características texturales según sus orígenes probables (Lewis, 1993).....	<b>36</b>
<b>TABLA 6.</b> Algunos valores típicos de la actividad de agua en alimentos (Lewis, 1993).....	<b>41</b>
<b>TABLA 7.</b> Unidades utilizadas para expresar conductividad eléctrica (Garza, 2006).....	<b>46</b>
<b>TABLA 8.</b> Valores reportados para conductividad eléctrica de frutos y vegetales.....	<b>47</b>
<b>TABLA 9.</b> Promedio (error estándar) y tamaño de muestra de la relación entre las características físicas del xoconostle.....	<b>60</b>
<b>TABLA 10.</b> Promedio (error estándar) de las propiedades físicas y fisicoquímicas del xoconostle cosechado en tres diferentes estadios de madurez.....	<b>61</b>

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>GRÁFICO 1.</b> Comparación de humedad (% peso). .....	<b>62</b>
<b>GRÁFICO 2.</b> Comparación de materia seca (% peso).....	<b>62</b>
<b>GRÁFICO 3.</b> Comparación de pectina (% peso). .....	<b>63</b>
<b>GRÁFICO 4.</b> Comparativos de algunas propiedades físicas del xoconostle cosechado en dos diferentes estadios durante su maduración. A) Pérdida de peso; B) Diferencia de color ( $\Delta E$ ); C) Pérdida de diámetro longitudinal y D) Pérdida de diámetro ecuatorial. ....	<b>64</b>
<b>GRÁFICO 5.</b> Comparativos de firmeza de xoconostle cosechado en dos diferentes estadios durante su maduración en la zona 2.....	<b>67</b>
<b>GRÁFICO 6.</b> Comparativos de propiedades fisicoquímicas de xoconostle cosechado en dos diferentes estadios durante su maduración. A) pH; B) Acidez; C) Sólidos solubles y D) Índice de madurez. ....	<b>68</b>
<b>GRÁFICO 7.</b> Porcentaje de humedad de xoconostle cosechado en dos diferentes estadios durante su maduración mediante dos métodos distintos. A) Método de estufa de aire; B) Analizador de humedad halógeno. ....	<b>69</b>
<b>GRÁFICO 8.</b> Porcentaje de azúcares reductores de xoconostle cosechado en dos diferentes estadios durante su maduración. A) Azúcares reductores directos (ARD) y B) Azúcares reductores totales (ART).....	<b>70</b>
<b>GRAFICO 9.</b> Porcentaje de pectina en xoconostle cosechado en dos estadios durante su maduración.....	<b>70</b>
<b>GRAFICO 10.</b> Porcentaje de pectina en cáscara y pulpa de xoconostle cosechado en estado semimaduro. ....	<b>71</b>
<b>GRÁFICO 11.</b> Actividad de agua de xoconostle cosechado en dos diferentes estadios durante su maduración. ....	<b>72</b>
<b>GRÁFICO 12.</b> Conductividad eléctrica de xoconostle cosechado en dos diferentes estadios durante su maduración. ....	<b>73</b>
<b>GRÁFICO 13.</b> Intensidad respiratoria de xoconostle cosechado en dos estadios durante su maduración. A) Cada 1 ½ hrs y B) Cada 3 días. ....	<b>75</b>

Existen en México más de 100 especies del género *Opuntia* entre éstas el xoconostle, fruto que permanece en la planta durante todo el año sin sufrir deterioro e inclusive una vez cosechado se preserva varias semanas debido a su alto contenido de acidez. Casi no se consume en fresco, posee propiedades farmacéuticas y alimenticias. Poco se sabe de sus características ya que ha sido poco estudiado. Es por ello que el objetivo de éste trabajo fue llevar a cabo su caracterización física, fisicoquímica, química, termodinámica y fisiológica en dos diferentes puntos de corte durante su maduración en condiciones ambientales.

Se llevó a cabo un análisis en el cual se determinó la composición química inicial del fruto en tres diferentes puntos de corte: verde, semimaduro y maduro con la finalidad de conocer los componentes químicos que se modifican durante la maduración del fruto. Posteriormente se emplearon dos lotes de xoconostle cosechados en estado verde y semimaduro respectivamente; se determinaron las propiedades físicas, fisicoquímicas, químicas, termodinámicas y fisiológicas. Los parámetros anteriormente citados fueron medidos durante la maduración de los frutos cada tercer día en un periodo de 15 días.

Las pérdidas de peso fueron mayores al 10%, los diámetros disminuyeron en ambos xoconostles. Se presentó ablandamiento de tejido siendo mayor para xoconostle verde. Se determinó que el xoconostle semimaduro presentó mayor diferencia de color ( $\Delta E$ ) que el verde a través del tiempo, sin embargo el color del xoconostle verde se modificó en mayor escala durante su maduración.

El incremento de sólidos solubles fue mayor en xoconostle semimaduro. Durante su maduración se incrementó el pH y disminuyó la acidez en ambos casos; los cambios más notorios ocurrieron en xoconostle verde. El índice de madurez aumentó con respecto al tiempo siendo mayor para xoconostle semimaduro.

Los componentes químicos que se modificaron en xoconostle durante su maduración no fueron mayores al 1% en ambos casos. El xoconostle verde presentó mayores valores de actividad de agua que el semimaduro y menores de conductividad eléctrica debido al aumento en la permeabilidad de la membrana.

El patrón respiratorio encontrado fue diferente en los dos estadios; ocasionado por la alteración en el metabolismo de ambos frutos además de que el xoconostle en estado verde sufrió mayores pérdidas durante su maduración.

Se concluye que es más conveniente cortar el xoconostle en estado semimaduro ya que el proceso de maduración se llevó a cabo adecuadamente, lo cual se vió reflejado en los parámetros cuantificados en ambos puntos de corte durante el tiempo de almacenamiento.

**Palabras clave: Xoconostle, maduración, puntos de corte, comportamiento postcosecha, caracterización del fruto.**

---

---

La fisiología postrecolección de frutos y vegetales ha sido objeto de estudio en el amplio campo de la Ingeniería en Alimentos debido a que éstos son ingeridos por el hombre diariamente ya que además de proporcionar deleite al paladar cubren las necesidades básicas de nutrientes esenciales que el organismo no puede sintetizar.

La mayoría de los frutos son fuente de azúcares, fibra, vitaminas y minerales; los cuales contribuyen a mejorar la eficiencia del organismo y conservar la salud.

Son consumidos en fresco, mínimamente procesados e industrializados, es por ello que resulta importante conocer sus características iniciales a través de diversos parámetros para evitar cuantiosas pérdidas postcosecha y de igual modo obtener productos de alta calidad.

A éstas características se les ha denominado atributos que calidad que incluyen desde apariencia, textura, sabor, valor nutritivo, patrón respiratorio así como también, deben encontrarse libres de defectos. Lo anterior se ha empleado para determinar el grado de madurez de los frutos y por consiguiente para conocer el punto de corte óptimo en el cual se adquirirán las propiedades típicas de un fruto en específico.

El xoconostle es un fruto ampliamente producido en México, principalmente en regiones del centro del país que a pesar de que es utilizado para la elaboración de platillos típicos mexicanos, además de habersele dado usos farmacéuticos, poco se sabe de sus propiedades.

Es por ello que se desarrolló un proyecto en el cual se lograra caracterizar experimentalmente la maduración de dicho fruto en dos diferentes estadios a través de diversos parámetros físicos (pérdida de peso, tamaño, textura, color, sólidos solubles y rendimiento), fisicoquímicos (Acidez, pH e índice de madurez), químicos (Humedad, carbohidratos, proteína, grasa, fibra cruda, cenizas y pectina), termodinámicos (actividad de agua y conductividad eléctrica) y fisiológicos (índice respiratorio), para incrementar la información del fruto, estimar la relación existente entre las diversas características del fruto con respecto a su grado de madurez y finalmente determinar el punto de corte óptimo en el cual debe cosecharse.

Éste es de manera general el tema alrededor del cual se desarrolla el presente trabajo. Se encuentra desglosado en tres capítulos que son presentados de la siguiente manera:

**CAPITULO I.** Muestra el marco teórico en que es basado y fundamentado el objetivo general y específicos del proyecto. Se hace referencia a las características del xoconostle, los diversos parámetros de calidad que se consideran en el manejo de frutos, su fisiología postrecolección, además se mencionan algunas de las propiedades (físicas, fisicoquímicas, químicas, termodinámicas, químicas y fisiológicas) y métodos de medición que son utilizados para conseguir la caracterización de los frutos recién cortados e inclusive durante su maduración postcosecha.

**CAPÍTULO II.** Metodología. Se presenta de manera detallada el cuadro metodológico, objetivos, descripción de las actividades desarrolladas y el análisis estadístico que se llevó a cabo.

**CAPÍTULO III.** Resultados y análisis. Se muestran de manera clara a través de gráficos y tablas los resultados obtenidos, haciendo énfasis en los diferentes estadios de madurez de los xoconostles analizados y el tiempo de almacenamiento; además se encuentra la discusión en la cual se contrastaron los resultados obtenidos con la información recabada bibliográficamente.

Posteriormente se presentan las conclusiones a las que se llegaron con el desarrollo de ésta investigación así como las recomendaciones propuestas. Finalmente se localiza un apartado de anexos en los que se describen las técnicas analíticas empleadas, los resultados del análisis estadístico realizado, los modelos matemáticos obtenidos de los gráficos, incluyendo los resultados a manera de tabla.

**OBJETIVOS**

**OBJETIVO GENERAL**

Caracterizar la maduración en condiciones ambientales del xoconostle (*Opuntia joconostle* Weber), cosechado en diferentes estadios de madurez a través de parámetros físicos, fisicoquímicos, termodinámicos, químicos y fisiológicos para incrementar la información del fruto y recomendar posibles opciones de transformación.

**OBJETIVO PARTICULAR 1**

Establecer la relación entre el estado de madurez, determinado sensorialmente por color y tacto, y los parámetros físicos, químicos y fisicoquímicos del xoconostle recién cortado para comprobar que la clasificación sensorial coincide con los cambios ocurridos en el fruto.

**OBJETIVO PARTICULAR 2**

Comparar la cinética de maduración de xoconostles cortados en dos diferentes estados de madurez (verde y semimaduro) midiendo diversos parámetros físicos, fisicoquímicos, químicos y termodinámicos para seleccionar el punto de corte adecuado para la maduración postcosecha.

**OBJETIVO PARTICULAR 3**

Determinar la hora del día de mayor respiración de los xoconostles verdes y semimaduros para obtener las curvas de intensidad respiratoria durante la maduración de los xoconostles cortados en los dos estadios.

# **CAPÍTULO I**

# **GENERALIDADES**



## **1.1 XOCONOSTLE.**

### **1.1.1 Antecedentes**

Las cactáceas son una de las más distintivas y exitosas familias de plantas del nuevo mundo con 1600 especies.

Estas especies se encuentran distribuidas desde Canadá hasta Argentina, siendo México el más importante centro de diversidad con 669 especies y 244 subespecies. En esta área geográfica, los diferentes tipos de vegetación adquieren sus nombres dependiendo de su fisonomía y/o su estructura dominante. (Borrego, 1986; Olivares y Chimal 1992).

Ejemplos de estas asociaciones de plantas son las “nopaleras”, consistentes en algunas especies de *Opuntia* spp, las cuales comprenden el más diverso género de la familia de las plantas. Éste tipo de asociación natural de plantas, también referidas como matorrales groseros ó silvestres son predominantes en el desierto de Chihuahua y las Balsas del Río Basin. En contraste, existen otro tipo de nopaleras, que crecen en la frontera de las granjas, campos, en jardines caseros, así como plantaciones comerciales. Dentro de estas nopaleras hay aproximadamente 144 variantes de *Opuntia* con diferentes niveles de domesticación (Reyes, 2006).

Son muy resistentes a la sequía y son importantes desde el punto de vista económico por su valor comestible, ya sea en el caso de sus pencas o de sus frutos, tanto para el humano como para el ganado.

El género también crece de manera natural, aún siendo cultivado en diversos ambientes así como otros continentes.

En algunas regiones de México existen frutos que pertenecen a la familia de las *Opuntias* tales como *Opuntia joconostle* y *O. Matudae* las cuales producen frutos ácidos que reciben el nombre de xoconostles (tunas ácidas), que se utilizan como condimento en la comida mexicana, en la fabricación de dulces, mermeladas y bebidas (García, 2005).

El xoconostle se conserva por varios meses en la planta sin sufrir deterioro, e incluso se conserva por varias semanas en lugares frescos y secos, sin perder sus propiedades de sabor, color y humedad. A pesar de estas cualidades, su utilización y producción está restringida a determinadas regiones geográficas (citado en Montiel, 2001).

Este fruto no entra en estado de putrefacción tan rápidamente como la tuna dulce. López (1977), señala que puede permanecer hasta un año en la planta en estado de madurez sin que se deteriore, ésto lo hace una especie muy valiosa, pues se puede vender o emplear en cualquier época.

Se reporta la existencia de 13 formas de Xoconostle reconocidos tradicionalmente y la característica que determina la variedad es el color del fruto .

### **1.1.2 Origen**

Las *Opuntias* tienen en México evidencias fechadas desde hace 7, 000 años. En excavaciones de Tehuacan, Puebla se encontraron semillas de tuna, xoconostle y fibras de penca de nopal fosilizadas.

El nopal es uno de los símbolos más importantes de la identidad mexicana. También es un elemento fundamental en la historia de la fundación de la gran Tenochtitlán que significa “nopal sobre la piedra”. Los aztecas llamaban al nopal Nochtli o Nopalli (González, 2001). Se sabe que desde tiempos prehispánicos las culturas mesoamericanas encontraron en el nopal cualidades alimenticias y medicinales en las cuales basaban muchas de sus costumbres.

Actualmente el nopal y sus derivados se han convertido en una fuente inagotable de productos y funciones. Inicialmente, como una planta silvestre y después como un cultivo tanto para la subsistencia como para una agricultura orientada no solamente al mercado nacional, sino también, en algunas variedades, al mercado internacional (Reyes, 2006).

En el país, el nopal es una fuente de ingreso para las comunidades rurales en zonas áridas y semiáridas, además de que fomenta el arraigo de los campesinos a sus tierras. Ellos acostumbran a consumir las pencas jóvenes, las tunas y el xoconostle (Granados, 1996).

### **1.1.3 Producción**

*Opuntia joconostle* está presente en gran parte del centro del estado de Jalisco, en el bosque tropical caducifolio y en el matorral xerófilo en los municipios de San Juan de los Lagos, Tepatitlán y Valle de Guadalupe y con menor abundancia en el bosque tropical caducifolio que ocupa la zona central y parte de la costa de Jalisco y en el bosque espinoso hacia la región sureste (El Kossori, 1998).

Se localiza también en el estado de San Luis Potosí, en La Pila, en suelo de origen ígneo; en los municipios de Tecamac y Acolman, Edo. de Méx., en el estado de Hidalgo en los municipios de Pachuca, Zempoala y en el Valle del Mezquital, y en la zona árida Queretana-hidalguesa.

En la región del Valle del Mezquital, estado de Hidalgo, *Opuntia joconostle* cv Burro es el xoconostle más utilizado por los pobladores, mientras que *O. Matudae* cv Rosa y cv Blanco son poco aprovechados, y no se comercializan. Se reportan en el estado de Querétaro 11 colectas de frutos de xoconostle con un promedio de peso de 53.36 g que se comercializan y que pueden ser similares a los cv Rosa y Blanco analizados. Respecto a *Opuntia joconostle*, en el estado de Zacatecas el peso promedio del fruto es de 110.7 g (citado en Montiel, 2001).

En el centro del país se cultivan 600 hectáreas de una especie (*Opuntia matudae*), que se comercializa en toda la república, pero la mayor parte carece de asesoría técnica en cuanto a prácticas de diagnóstico y prevención de enfermedades.

Durante 2001 la superficie cultivada es de 20 mil 301 hectáreas, de las cuales 18 mil 818 son de nopal tuna, 970 de xoconostle y 513 de nopal verdura (Corrales, 2002).

De acuerdo con Hernández y Flores (2004), actualmente se encuentran cultivados cerca de 1,300 hectáreas de xoconostle en 6 municipios del Estado de México, localizado en el Centro del país, aunque no existe información relacionada con la extensión territorial de las nopaleras que producen O. joconostle.

ESTADO	SUPERFICIE SEMBRADA (Ha)	SUPERFICIE COSECHADA (Ha)	PRODUCCIÓN ESTIMADA (Ton)	PRODUCCIÓN OBTENIDA (Ton)	RENDIMIENTO ESTIMADO (Ton / Ha)	RENDIMIENTO OBTENIDO (Ton / Ha)
Aguascalientes	240		9,518	167,912		
Baja California	626.5	24	25,504.60	96	103.907	4.668
Baja California Sur	17		136		8	
Chihuahua	12	12	300	76.5	50	9.5
Colima	7.5	7.5	94	68	36	26.4
Distrito Federal	4,337	4,337	328,274.90	110,491	153.371	40.9
Durango	40	22	804	220	171.333	7.333
Guanajuato	179.9	165.9	3,205.30	1,201.40	153.149	47.401
Guerrero	16	1	318	4	73	4
Hidalgo	48.5	6.5	3,679.50	39	427	6
Jalisco	487.8	52	7,020	1,071	249.006	97.15
México	663.8	552.5	119,427	19,822.20	1,470.41	224.874
Michoacán	17	14.7	534	170	198	67.25
Tamaulipas	596.5	266	7,112.80	2,068	252	10.261
Tlaxcala	0.5	0.5	7.5	3.5	15	7
Veracruz	59.6	7	1,287.80	2.5	102	0.357
Yucatán	5	1	150	35	30	7
Zacatecas	357.6	103	6,133.20	618	270.785	18

(Servicio de información y estadística agroalimentaria y pesquera (SIAP), con información de las delegaciones de la SAGARPA en los estados, 2006).

XOCONOSTLE EN MÉXICO	AÑO		
	2004	2005	2006
Superficie sembrada (Ha)	10,157	10,794	11,179
Superficie cosechada (Ha)	8,759	8,613	8,558
Producción obtenida (Ton)	300,532	326,873	255,803

(Servicio de información y estadística agroalimentaria y pesquera (SIAP), con información de las delegaciones de la SAGARPA en los estados, 2006).

**TABLA 1.** Producción de Xoconostle.

### 1.1.3.1 Xoconostle en el estado de Hidalgo



**FIGURA 1.** Noplera de *Opuntia joconostle weber* (Granados, 1996).

En esta zona existen varios tipos de tuna agria o Xoconostles, el más conocido de ellos recibe el nombre de "cuaresmero" o "burro", según la región y se encuentra presente en gran parte de la zona semiárida del territorio mexicano.

En la región de Huichapan, situada en la parte occidental del Valle del Mezquital en el estado de Hidalgo, y en un municipio con extensión de 29,810 hectáreas, se ha detectado la presencia de Xoconostles de la especie *O. matudae*, tipos rosa y blanco, reportándose en un principio como *O. joconostle* y *O. imbricata* (Olivares y Chimal, 1992).

En esta zona la presencia del nopal Xoconostle es muy escasa (0.3% del total de opuntias), limitándose a crecer en zonas alejadas de la población. Los ejemplares encontrados, se han conservado alejados del ganado y su utilización es esporádica por los propietarios. Se observa que algunas plantas fueron plantadas por los peones en tiempos de la hacienda, ya que se encuentran ejemplares alrededor de construcciones de aquella época. Scheinvar (1982), describe esta especie y la ubica en el Valle de México (municipios de Tecamac y Acolman, Méx.) y en la zona árida Queretana-Hidalguense.

Durante los años de 1992 a 1995 se han realizado en la región de Huichapan, Hidalgo, estudios correspondientes a tres tipos de Xoconostle, enfocados a conocer cual es su respuesta a la fertilización y cual es la dinámica de crecimiento de un huésped natural, la chinche gris (*Chelinidae spp.*) (Montiel, 2001).

#### **1.1.4 Comercialización**

Debido a la gran variación en el volumen de producción y el precio al consumidor, las características del mercado para el xoconostle, fruto de consumo directo, son muy inestables debiéndose a varios factores, como son: la época del año, localidad y la misma presentación de la fruta.

Actualmente el xoconostle producido en nuestro país, se dedica casi exclusivamente para consumo nacional. Éste está dividido en dos sectores: el consumo local y regional de las zonas productoras y el consumo hecho en el Distrito Federal, siendo el más importante este último (Corrales, 2002). En el caso del xoconostle como en el de todos los productos perecederos en los que las mermas y riesgos son mayores, el margen de comercialización es mayor y por lo tanto el precio final o precio para el consumidor también será mayor (De León, 1999).

Como puede apreciarse en el diagrama de proceso de comercialización del xoconostle (Fig. 2), tiene características especiales como son el carecer de mayoristas urbanos y el que el fruto para industrializarse debe pasar del productor hasta el medio mayorista y el detallista, en lugar de pasar directamente del productor a su industrialización y luego al consumidor.

Posiblemente por la escasa oferta existente, el aprovechamiento del xoconostle no se realiza a gran escala en las industrias ya existentes (jaleas, mermeladas, almíbares, salmueras, etc.), lo cual a su vez provoca el que los medios mayoristas y los detallistas se dediquen a la preservación y venta del fruto fresco, ya por necesidades del mercado o bien por las ganancias que esto les reditúa.

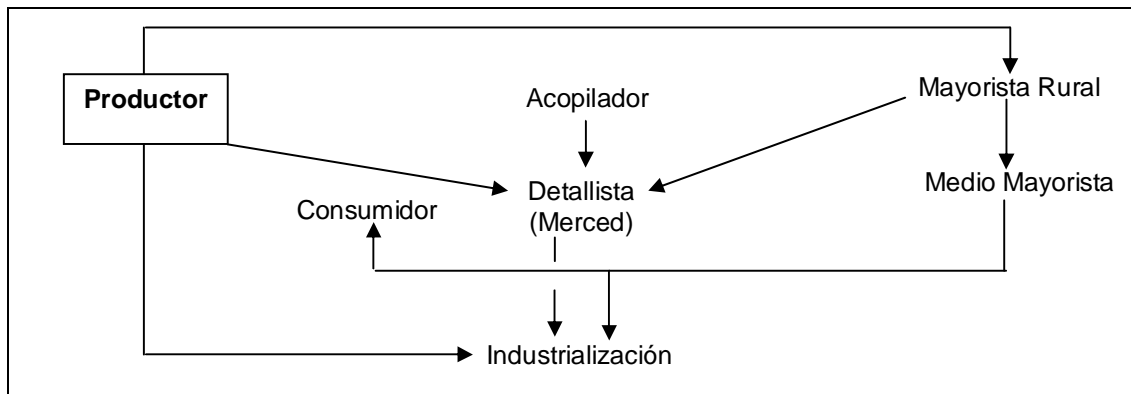


FIGURA 2. Canales de comercialización del xoconostle (Castellanos, 1999).

Respecto al mercado, una caja de 20 Kg de xoconostle posee un precio al por mayor de 5 dólares (Hernández y Flores, 2004).

### 1.1.5 Estructura y fisiología

El nombre científico del Xoconostle es *Opuntia joconostle* Weber, (Bravo, 1978; Martínez, 1979).

La planta, de acuerdo con López (1999), mide de 1-2 metros de altura, con pencas de 30-40 cm. de diámetro, aréolas muy juntas, espinas de 3-5 por areola y frutas redondas en forma de pera. Bravo la describe como una planta arborescente de 2-3 m. de altura, tronco bien definido como de 20 cm. de diámetro, grisáceo, con ramificación abundante. Flor amarilla, fruto subgloboso de 2 cm. de diámetro de pulpa ácida, rosada, ligeramente perfumada, fruto comestible que aparece en marzo.

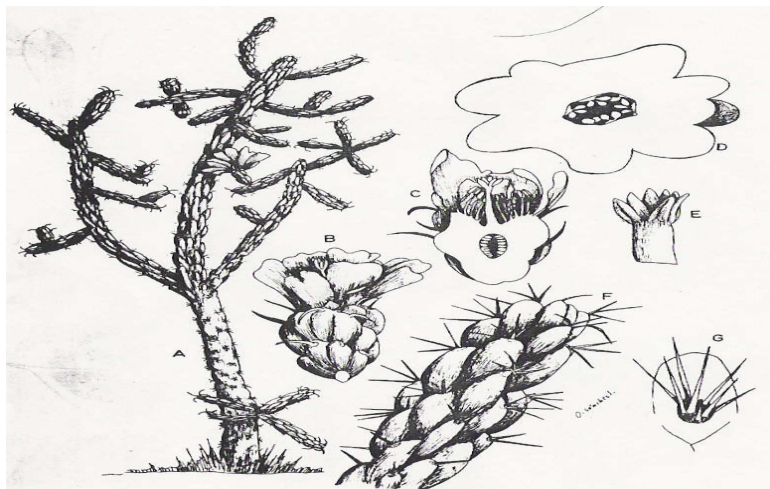


FIGURA 3. Partes constituyentes de *Opuntia joconostle* Weber. A)Aspecto de la planta, B) Una flor, C)Corte de una flor, D)Corte transversal de ovario, E)Estigma, F)Un artículo de la planta y G)Disposición de las espinas. (Martínez, 1979)

#### 1.1.5.1 Variedades

Existen 8 especies de xoconostle (*O. duranguensis* Britton & Rose, *O. heliabravoana* Scheinvar, *O. imbricata* DC., *O. joconostle* A. Web., *O. leucotricha* DC., *O. matudae* Scheinvar, *O. velutina* F.A.C. Weber and *O. Zamudioi* Scheinvar) y 7 especies con variantes que provienen del fruto típico de xoconostle (*O. chavena*

Grifths, *O. lasiocantha* Feiff., *O. megacantha* Salm-Dyck, *O. oligacantha* Hort. Vindob. ex Pfeiff., *O. robusta* Wendl., *O. spinulifera* Salm-Dyck, *O. streptacantha* Lem.) todos ellos crecen de manera silvestre en las regiones semiáridas del país, aunque algunas de estas especies son también cultivadas en jardines y plantaciones comerciales (Janzen, 1986; Scheinvar, 1999; Viguera y Portillo, 2001; Casas y Barbera, 2002; Reyes, 2005).

#### **1.1.6 Cosecha**

Cosechar cualquier fruto en un punto óptimo de madurez fisiológica es de difícil determinación. Se han tomado algunos parámetros que son fáciles de observar para proceder al corte, pero no siempre resulta adecuado aplicar estos conocimientos, pues la fruta puede durar unos días más de lo normal e incluso no alcanzar la madurez comercial. Un fruto cortado a tiempo puede madurar después del corte, pero otros pueden llevarse varios días y no ser apto para el consumo pues no se desarrollaron sus parámetros de calidad (Hobson, 1993).

La fruta debe cosecharse, una vez que se ha desarrollado completamente y alcanzado su madurez fisiológica esto ocurre cuando toma un color verde amarillento -en ocasiones rosáceo- y su textura es aún firme.

Es muy importante cortar la fruta en el momento apropiado, ya que si se cosecha demasiado verde, posteriormente se suavizará apropiadamente pero su calidad desmerecerá ya que carecerá de las características peculiares del sabor y olor. Por el contrario si se le permite sobrepasar en la nopalera el periodo de madurez comercial se ablandará, magullándose o reventándose. Por lo tanto se debe evitar cosechar el fruto muy verde porque la pulpa no madura bien. (Sánchez, 1996).

Al igual que con otros frutos el xoconostle debe ser tratado con cuidado para evitar golpes ó cualquier otro tipo de daño mecánico, por lo tanto al cosecharse deberá colocarse en cajas o cajones y canastas, formando apenas una camada de frutos, procurando el evitar romperle la cáscara y magullarla, ya que de lo contrario se deteriorará con mayor facilidad y su metabolismo se verá afectado; una vez realizada esta operación, las cajas deben ser puestas a la sombra y protegidas del polvo provocado por el movimiento de vehículos, vientos fuertes o de lluvia. (De León, 1999).

#### **1.1.7 Pérdidas postcosecha**

Todas las frutas y raíces son partes de plantas vivas que contienen de un 65% a 95% de agua y cuyos procesos vitales continúan después de la recolección. Su vida después de la cosecha depende del ritmo al que consume sus reservas almacenadas de alimentos y del ritmo de pérdida de agua. Cuando se agotan las reservas de alimentos y agua, el producto muere y se descompone (Planella, 1987).

Se examinan a continuación las principales causas de las pérdidas, pero hay que tener en cuenta que en el proceso de comercialización del producto fresco todas están relacionadas entre sí, y en todas influyen condiciones externas tales como la temperatura y la humedad relativa.

**1.1.7.1 Deterioro fisiológico**

Las pérdidas causadas por los cambios fisiológicos normales se intensifican cuando intervienen condiciones que aceleran el proceso natural de deterioro, como temperaturas elevadas, baja humedad atmosférica y daños físicos.

Cuando el producto se expone a temperaturas extremas, a modificaciones de la composición de la atmósfera, sufre un deterioro fisiológico anormal, que puede causar sabores desagradables, la detención del proceso de maduración u otras modificaciones de los procesos vitales y puede dejar de ser apto para el consumo (Pantástico, 1987).

**1.1.7.2 Daños mecánicos (lesiones físicas)**

La mala manipulación del producto fresco es causa de magulladuras internas que dan lugar a un deterioro fisiológico anormal o a hendiduras y grietas de la piel, que aumentan rápidamente la pérdida de agua y aceleran el proceso normal de modificaciones fisiológicas. Las grietas en la piel también propician las infecciones por los organismos patógenos causantes de la descomposición (Flores, 2000).

**1.1.7.3 Plagas**

En México son escasas las plagas que actualmente se conoce que atacan al xoconostle, esto es debido quizá a lo poco difundido que se encuentra esta fruta en cuanto a su comercialización; además de que es un fruto que a pesar de poseer elevado contenido de agua, no sufre daños debido a que se protege por sus altos contenidos de acidez.

Se han encontrado nematodos pero únicamente en la cáscara del fruto (Montiel, 2001).

**1.1.8 Composición química**

Debido a que aunque el Xoconostle es un fruto originario del país y ha sido poco estudiado, las referencias bibliográficas muestran variaciones notables en cuanto a su composición.

A continuación se muestran las diferentes fuentes encontradas:

COMPONENTE % (g/100g)	BIBLIOGRAFÍA			
	GRANADOS <sub>1</sub>	FACHMANN <sub>2</sub>	QUINTÍN <sub>3</sub>	FAO <sub>4</sub>
Humedad	82.29	86.1	86.3	87.7
Proteína	1.25	1.0	0.15	0.1
Grasa	0.309	0.4	0.36	0.4
Carbohidratos	11.324	7.1	5.20	5.0
Fibra cruda	2.038	5.0	6.55	5.5
Cenizas	2.789	0.39	1.43	1.3
Pectina	-	-	-	-

1. Granados Sánchez Diodoro, 1996, "El nopal. Historia, genética e importancia frutícola" Trillas México.  
 2. Fachmann W. SW Soucl. , 2000, "Food Composition and nutrition tables". Medpharm. USA.  
 3. Quintín Olascoaga José, 1983, "Tablas de valores nutritivos para cálculos dietéticos. Recopilación y cálculos dietéticos" Méndez editores, México.  
 4. <http://www.rlc.fao.org/bases/alimento/print.asp?dd=1555>

**TABLA 2.** Composición química del Xoconostle.

**1.1.9 Aporte nutritivo**

Las características nutricionales de las tunas son relativamente bien conocidas (Sepúlveda, 2000; Stintzing, 2001), pero la información relacionada con el xoconostle continúa siendo escasa (Sánchez y Ortega 1996).

Cabe destacar que el Xoconostle es un fruto rico en fibra por lo cual contribuye al buen funcionamiento del intestino además de la asimilación de grasas, colesterol, glucosa y sustancias biliares (Grigelmo, 1999).

Se han efectuado muchos estudios que relacionan la ausencia de fibra con diversos problemas de salud tales como constipación, diverticulosis, colitis, hemorroides, cáncer de colon y en el recto, diabetes mellitus, arterosclerosis y otros. (Primo, 1998).

Su función principal es que tiene la capacidad de hincharse y absorber agua y por lo tanto aumentar el volumen de la materia fecal, incrementando los movimientos peristálticos del intestino y facilitando el tránsito, la distensión intestinal y consecuentemente la defecación. (Badui, 1999).

Además aunque posea pocas cantidades de proteína ó nitrógeno libre, los aminoácidos presentes no son esenciales, más bien son precursores de algunas fitohormonas indispensables para proporcionar las características finales del fruto (Astiasarán, 2003).

Aporta ácidos orgánicos benéficos para el organismo como el cítrico, málico y tartárico aunque estos últimos en menores proporciones.

**1.1.10 Usos alimenticios**

La cáscara de xoconostle ha sido empleada como alimento en el área norte del centro de México desde los tiempos pre - Colombinos (Sagahún, 1989; Sánchez y Ortega 1996).

En medicina tradicional, éste fruto ha sido utilizado como un remedio para la diabetes, hipertensión, obesidad y malestares respiratorios (Sánchez 1982; Scheinvar 1999). Debido a su apetitoso sabor ácido, textura succulenta y su larga durabilidad de permanencia en la planta, el fruto se encuentra disponible durante todo el año.

El xoconostle es considerado un alimento valioso, que es consumido como fruto fresco, como vegetal en ensaladas y salsas, como el principal ingrediente en postres, seco y en láminas como un aperitivo, y en bebidas alcohólicas. Éste fruto es frecuentemente añadido en fresco en sopas para mejorar su sabor (Sánchez y Ortega, 1996; Almanza, 1999).



También este fruto es procesado en pequeña escala en la industria de alimentos como jaleas, mermeladas, se utiliza entero para la elaboración de almíbares o salmueras, para preparar salsas y licores listos para servir, entre otros productos alimenticios. (Corrales y Flores 2002).

## **1.2 Fisiología de la Postrecolección**

Por fisiología se entiende el estudio de los procesos que se producen en los seres vivos.(FAO, 2005).

Una consideración en base a los frutos y vegetales es que se trata de estructuras vivas, y no sólo se encuentran vivas cuando se hallan unidas a la planta de que proceden; tras la recolección continúan estándolo y siguen desarrollando los procesos metabólicos y manteniendo los sistemas fisiológicos que operaban mientras se hallaban unidos al vegetal de procedencia, con la diferencia de que mientras permanecen unidas a las plantas de procedencia las pérdidas ocasionadas por la respiración y la transpiración se compensan mediante el flujo de la savia que contiene agua, productos fotosintetizados (especialmente sacarosa y aminoácidos) y minerales y posteriormente, aunque continúan respirando y transpirando dependen exclusivamente de sus reservas alimenticias y de su propio contenido de humedad, ya que han perdido contacto con la fuente de agua, productos de la fotosíntesis y minerales. Por tanto las pérdidas de sustratos respirables no se compensan y se inicia el deterioro (Wills, 1989).

En el proceso de maduración las sustancias acumuladas durante el desarrollo, se transforman de manera lenta y progresiva, hasta que el fruto alcanza las condiciones de aroma y jugosidad que permiten calificarlo como maduro. Estos fenómenos prosiguen hasta que se alcanza la disgregación natural (sobremaduración) o hasta que se producen desarreglos funcionales que provocan la muerte de los tejidos y su fácil descomposición (Sean, 2002).

Éstas transformaciones bioquímicas, químicas y físicas, influyen en las características cualitativas del fruto y se manifiestan en su manejo, comercialización e industrialización (Gallegos, 1997).

### **1.2.1 Índices para cosecha**

La calidad de las frutas y hortalizas no se puede mejorar, pero se puede conservar. La buena calidad se obtiene cuando la cosecha se hace en el estado de madurez apropiado.

Las frutas inmaduras resultan de mala calidad y maduran en forma irregular. En forma similar, las hortalizas cosechadas demasiado pronto pueden permanecer verdes durante más tiempo, pero su calidad es mala. Por otra parte, el retraso de la cosecha de las frutas y hortalizas puede aumentar su susceptibilidad a la pudrición, resultando de mala calidad y por consiguiente de escaso valor en el mercado (Pantástico, 1987).

Existen innumerables variaciones entre las diferentes variedades y aun tipos de frutas y hortalizas. Estas variaciones pueden evaluarse estableciendo criterios para la cosecha. La madurez puede determinarse como sigue: **a)** por medios visuales: color de la piel, la persistencia de una parte del estilo, la presencia de hojas

externas secas, el secamiento del cuerpo de la planta y el llenado del fruto; **b)** por medios físicos: facilidad de abscisión o separación, macidez y peso específico; **c)** por análisis químico: determinación de sólidos, de ácidos, proporción entre sólidos y ácidos y contenido de almidón; **d)** por medio de cuenta o cálculos: días transcurridos desde la floración y unidades de calor y **e)** por métodos fisiológicos: respiración (Planella, 1987).

### **1.2.2 Desarrollo fisiológico**

La vida de las frutas y hortalizas puede dividirse en tres etapas fisiológicas fundamentales subsiguientes a la germinación: el crecimiento, la maduración y la senescencia, sin que sea fácil establecer una clara distinción entre las tres.

El crecimiento implica la división celular y el subsiguiente desarrollo de las células que dan cuenta del tamaño final alcanzado por el producto. La maduración fisiológica suele iniciarse antes de que termine el crecimiento e incluye diferentes actividades en los distintos productos. La senescencia se define como una fase en la que los procesos bioquímicos anabólicos (sintéticos) dan paso a los catabólicos (degradativos) conduciendo al envejecimiento y finalmente a la muerte tisular (Bedolla, 2003).

El crecimiento y la maduración fisiológica de la fruta sólo se completan cuando permanece unida a la planta de que procede, pero la maduración organoléptica y la senescencia pueden proseguir una vez separada de aquélla (Wills, 1989).

### **1.2.3 Valoración de la calidad**

No existe posibilidad de definir objetivamente el término calidad, que para el consumidor es fundamentalmente el resultado de un juicio meramente subjetivo. El veredicto con respecto a las frutas y hortalizas diferirá con los productos de que se trate y en cada uno de ellos con la posición que ocupe en la cadena de distribución (Flores, 2000).

La calidad debe definirse en función del uso a que el producto vaya a ser destinado. Las normas de atributos de calidad de un producto, deben referirse, por tanto, a la venta en fresco, al almacenamiento, al transporte o a la industrialización. La venta de frutas y hortalizas frescas exige que éstas despierten la atracción del consumidor cuyas preferencias por un determinado tipo, y en definitiva cuyo juicio acerca de la calidad de un determinado producto, se ven fuertemente condicionados por la tradición.

#### **1.2.3.1 Criterios de calidad**

Para el consumidor, son atributos fundamentales de la calidad:

##### **a) Aspecto**

El tamaño constituye un criterio o atributo de calidad importante que puede apreciarse objetivamente mediante la determinación de la circunferencia o el diámetro, la longitud, la anchura, el peso o el volumen. Muchas frutas se clasifican por tamaños, generalmente a través de la medida del diámetro.

La forma es un criterio que con frecuencia permite distinguir entre diversos cultivares de una misma especie. Las frutas y hortalizas con una forma defectuosa tienen escasa aceptación. La forma constituye con frecuencia un problema en los programas de selección.

El consumidor ha correlacionado los cambios de color que acompañan al proceso de maduración con la conversión de almidón en azúcar, es decir, con la intensidad del sabor dulce y con el desarrollo de otros atributos deseables (Cheftel, 1999).

#### **b) Condiciones y defectos**

Las condiciones iniciales de los frutos son un atributo de calidad que generalmente se refiere al grado de frescura y al grado de envejecimiento o madurez de un producto.

Los defectos de la piel, como escoriaciones, cortes, etc., perjudican al aspecto y llevan consigo un descenso en el valor comercial, aunque las lesiones no supongan pérdida alguna de su conservabilidad ni de su calidad comestible (Pantastico, 1987).

#### **c) Textura y aroma**

El término textura hace referencia a la sensación global que un alimento despierta en la boca del consumidor. Se trata de un complejo de sensaciones percibidas por los labios, la lengua, las paredes de la boca, los dientes y aún los oídos. Cada una de estas áreas es sensible a pequeñas diferencias de presión y responde a diferentes atributos del producto (Barret, 2005).

Los labios valoran el tipo de superficie que se les expone, de modo que pueden distinguir entre una lisa y otra provista de vellosidades; los dientes valoran la rigidez de la estructura, perciben las presiones precisas para trocear el alimento y cómo cede éste frente a la presión aplicada. La lengua y las paredes de la boca son sensibles al tipo de partículas generadas cuando el alimento es desintegrado por los dientes, reconociendo si el producto triturado es blando y pastoso o si contiene grumos y partículas, así como la cantidad de jugo liberado. Los oídos perciben los sonidos producidos durante la masticación, aspecto particularmente importante en algunos productos. El efecto acumulativo de estas respuestas crea una impresión global de la textura del producto (Rossenthal, 2001).

El aroma engloba dos componentes el sabor y el olor. El sabor es percibido por la lengua; las cuatro sensaciones gustativas fundamentales son los sabores: dulce, salado, agrio y amargo, cada uno de los cuales es recogido por determinada zona de la lengua. Todos los alimentos provocan una respuesta en una o varias de estas áreas. El sabor de las frutas y hortalizas es generalmente una mezcla, o el resultado de un determinado equilibrio de sensaciones dulces y agrias, frecuentemente con un fondo ligeramente amargo, debido a los taninos. El olor es consecuencia del estímulo de los receptores olfativos por componentes orgánicos volátiles (Badui, 1999).

**d) Valor nutritivo**

El principal nutriente de las frutas y hortalizas es la vitamina C, cuyo aporte en la dieta de la mayoría de los seres humanos depende exclusivamente de esta fuente.

**1.2.3.2 Factores posteriores a la recolección que influyen en la calidad**

No todas las modificaciones sufridas por las frutas y hortalizas tras su recolección causan un detrimento de su calidad. La preocupación principal tras la recolección de otros productos es la de evitar el deterioro de la calidad que poseen en el momento de proceder a la recolección (Wills, 1989).

Los factores metabólicos incluyen el envejecimiento normal o metabolismo anómalo conducente al desarrollo de desórdenes fisiológicos.

La transpiración y consiguiente pérdida de agua puede acarrear un rápido descenso de la calidad provocando arrugamiento o marchitamiento de los frutos, aunque sólo afecte la textura, los consumidores se niegan a adquirir el producto. Las lesiones mecánicas deterioran el aspecto e incrementan el ritmo metabólico, el objeto de reparar la lesión; por otra parte, al estar dañadas las barreras naturales que se oponen a las pérdidas de agua, la transpiración se acentúa. Los microorganismos más importantes en este contexto son los mohos; si se dan las condiciones favorables para su desarrollo, tales como la temperatura, pH y humedad óptimos, su desarrollo puede ser rápido, produciéndose pérdidas considerables (Sean, 2002).

**1.2.4 Maduración y grado de madurez**

Las frutas sufren tras su recolección numerosos cambios fisicoquímicos determinantes de su calidad al ser adquiridos por el consumidor. La maduración organoléptica es un proceso dramático en la vida de la fruta; transforma un tejido fisiológicamente maduro pero no comestible en otro visual, olfatoria y gustativamente atractivo. Señala el final del desarrollo de una fruta y el comienzo de su senescencia y ordinariamente es un proceso irreversible (Hobson, 1993).

La maduración es el resultado de un complejo conjunto de transformaciones, muchas de las cuales son probablemente independientes entre sí.

Existe una clara distinción entre madurez fisiológica y madurez comercial. La primera es un estado en la vida de un órgano vegetal, el segundo está relacionado con el momento de proceder a la recolección al objeto de destinarlo a un determinado fin y puede por tanto traducirse en exigencias comerciales concretas (Flores, 2000).

La madurez fisiológica se refiere a aquel estadio en el desarrollo de la fruta u hortaliza en el que se ha logrado el crecimiento y la maduración máximos. En una fruta, está generalmente asociado con la comestibilidad óptima. El estadio de madurez fisiológica va seguido del envejecimiento. No siempre es fácil una clara distinción entre los tres estadios de desarrollo de una planta o un órgano vegetal, maduración y

envejecimiento, ya que la transición entre ellos suele ser lenta y no muy marcada. Sin embargo, el grado de madurez puede apreciarse fidedignamente en determinados productos mediante la determinación de la actividad respiratoria, la producción de etileno y varias determinaciones químicas, tales como los cocientes azúcares / ácidos (Pantastico, 1987).

La madurez comercial es aquel estado de un órgano vegetal en que el mercado exige que se encuentre. Generalmente guarda escasa relación con la madurez fisiológica y puede coincidir con cualquier estadio del proceso de desarrollo o envejecimiento; los términos inmaduro, maduro, sobremaduro se refieren también a estas exigencias. Es preciso entender cada uno de ellos en términos fisiológicos particularmente en lo que se relaciona con la vida útil o periodo de almacenamiento y con la calidad del producto organolépticamente maduro (Wills, 1989).

La maduración organoléptica es el proceso por el cual una fruta alcanza su calidad comestible óptima. La calidad potencial viene determinada por numerosos factores, entre los que alcanza máxima relevancia el estadio del desarrollo en el que se procedió a su recolección (Flores, 2000).

#### **1.2.4.1 Determinación de la madurez comercial**

El índice de madurez comercial suele incluir alguna expresión del estadio de desarrollo o maduración y requiere la determinación cuantitativa de alguna característica que se sabe cambia a medida que la fruta u hortaliza madura.

Se han sugerido numerosos criterios para evaluar la madurez, entre los que cabe citar: el color de la piel o las porciones carnosas; la consistencia; la transmitancia de luz o la conductividad eléctrica; la composición química; el tamaño y la forma; la actividad respiratoria o tiempo que le falta para alcanzar la comestibilidad óptima; el tiempo transcurrido desde la floración, o desde la siembra, y las unidades calóricas (Gallegos, 1997).

Para que sean prácticas las pruebas de madurez deben ser simples, rápidas y aptas para su utilización en el campo y, en medida de lo posible, no destructivas.

#### **1.2.5 Respiración y periodo climatérico respiratorio**

La respiración es un proceso metabólico fundamental tanto en el producto recolectado como en el vegetal vivo. Puede describirse como la degradación oxidativa de los productos más complejos normalmente presentes en las células, llamados compuestos de almacenamiento (como el almidón, los azúcares y los ácidos orgánicos) a moléculas más simples, como el dióxido de carbono y el agua con la consiguiente liberación de energía y otras moléculas que pueden ser utilizadas para las reacciones sintéticas celulares. La respiración puede tener lugar en presencia de oxígeno (respiración aeróbica) o en su ausencia (anaeróbica o fermentación) (Cheftel, 1999).

Este proceso involucra 3 procesos metabólicos vitales íntimamente ligados:

a. **Glicólisis:**

En la glicólisis, la glucosa es degradada secuencialmente a partir del almidón y sacarosa para formar ácido pirúvico. El ácido pirúvico, posteriormente es transferido al ciclo de Krebs. Las reacciones de la glicólisis no requieren oxígeno. Sin embargo, si se dan condiciones anaeróbicas cuando el producto es almacenado en un lugar poco ventilado o escaso de oxígeno, el ácido pirúvico no puede ser transferido al ciclo de Krebs y se acumula en el citoplasma de las células produciéndose etanol, lo que da lugar al proceso de **fermentación**. La fermentación tiene consecuencias desastrosas para los tejidos vivos en términos de sus reservas almacenadas y la acumulación de compuestos indeseables. De ahí la necesidad de instalar sistemas de ventilación en los almacenes o asegurar la circulación de aire.

b. **Ciclo de Krebs (o del ácido cítrico):**

Las reacciones del ciclo de Krebs se dan en la mitocondria, donde el ácido pirúvico producido en la glicólisis, sigue un proceso de descarboxilación y oxidación para formar ácido cítrico, y finalmente ácido oxalacético con lo que el ciclo se reinicia. En todo este proceso hay liberación de 3 moléculas de CO<sub>2</sub> y generación de energía en forma de 4 pares de electrones (NAD + H) y un par como FADH<sub>2</sub>.

c. **Sistema del citocromo (o transporte de electrones):**

Los electrones producidos en el Ciclo de Krebs son transferidos a través de un gradiente de compuestos aceptores de electrones de menor a mayor potencial. El compuesto final en esta gradiente es el oxígeno que es el de mayor potencial de reducción (mayor aceptor), en combinación con oxígeno se forma agua. Durante este proceso, parte de la energía libre es conservada como ATP que es una forma biológicamente "usable" para el funcionamiento de reacciones sintéticas y principales ciclos vitales. Sin embargo, parte de esta energía libre se pierde también como calor (**energía vital**). Esta elevación de la temperatura debe disiparse mediante sistemas de ventilación para evitar la condensación sobre superficies frías y la formación de agua libre que tiene funestas consecuencias en el almacenamiento de productos perecederos (Lennhinger, 2000).

La mayoría de los cambios fisicoquímicos que ocurren en las frutas cosechadas están relacionados con el metabolismo oxidante, incluso la respiración. Debido al vasto alcance de ésta, la oxidación bioquímica está relacionada con los estudios de cambios en calidad, trastornos fisiológicos, duración en almacenamiento, maduración, manejo de los productos y muchos de los tratamientos de posrecolección (Barret, 2005).

**1.2.5.1 Factores que afectan la respiración****1.2.5.1.1 Factores internos****a) Estado de desarrollo**

A medida que el fruto aumenta de tamaño, crecen también las cantidades totales de CO<sub>2</sub> emitidas por el mismo, pero a medida que el fruto se vuelve voluminoso, la tasa de respiración, calculada sobre la base del peso unitario, decrece en forma continua. En las frutas climatéricas, esa tasa es mínima en la madurez y permanece más bien constante, aun después de la cosecha. Sólo cuando va a efectuarse la maduración, la tasa de respiración asciende hasta el pico climatérico y luego declina de manera lenta (Flores, 2000).

Las frutas no climatéricas maduran en la planta. Si se les remueve antes de madurar, la tasa de respiración disminuye con lentitud.

**b) Composición química del tejido**

El Coeficiente respiratorio (CR) varía según el tipo de sustrato que se está empleando. Algunas condiciones anormales afectan la respiración. La baja solubilidad de O<sub>2</sub> produce condiciones parcialmente anaeróbicas, que dan como resultado la producción de un exceso de CO<sub>2</sub> con relación al O<sub>2</sub> consumido (Wills, 1989).

La relación entre la tasa de respiración y la composición química varía según el producto que se considera. El contenido de humedad también puede afectar la respiración.

**c) Tamaño del producto**

Un fruto pequeño tiene una tasa de respiración más elevada que otra más grande. Al igual que en la transpiración, pueden aquí intervenir fenómenos de superficie. Los tejidos de tamaño pequeño tienen expuesta una área superficial mayor a la atmósfera y por lo tanto, pueden difundirse a su interior una mayor cantidad de O<sub>2</sub> (Pantástico, 1987).

**d) Cubiertas naturales**

Es de esperarse que en los productos que tienen una buena corteza muestren tasas de respiración bajas.

**e) Tipo de tejido**

Los tejidos jóvenes que están metabolizando en toda actividad, tienen una tasa de respiración más elevada que los órganos quiescentes o latentes. La respiración puede variar también dentro de los órganos.

**1.2.5.1.2 Factores externos****a) Temperatura**

Entre los 0 y 35 °C, la tasa de respiración de las frutas y hortalizas aumenta con una tasa de 2 a 2.5 por cada 10°C de aumento en la temperatura, sugiriendo con ello que los afectan tanto los procesos biológicos como químicos. Arriba de 35°C, la tasa de respiración es la resultante del efecto favorable de la temperatura sobre la reactividad química y el efecto inhibitor de la temperatura elevada sobre la actividad enzimática. Sin embargo, la disminución de la tasa de respiración a temperaturas elevadas también puede indicar que: a) el O<sub>2</sub> no se difunde con rapidez suficiente para mantener la tasa de respiración; b) el CO<sub>2</sub> se acumula en las células

hasta un nivel que inhibe el metabolismo; c) la provisión de alimento oxidable puede ser inadecuada para mantener una tasa de respiración elevada (Barret, 2005).

**b) Etileno**

La aplicación de este gas afecta de manera significativa la escala de tiempo requerida para llegar al pico climatérico. En las frutas climatéricas actúa solo para desviar el eje del tiempo, no alterando la forma de la curva respiratoria ni ocasiona cambio alguno en los constituyentes principales. En el grupo no climatérico puede haber un estímulo en la respiración en cualquier momento de la vida del fruto cosechado, presentándose un incremento inmediato en la respiración después de la aplicación del  $C_2H_4$ . (Astiasarán, 2003).

**c) Oxígeno disponible**

La tasa de respiración aumenta con una provisión creciente de  $O_2$ , el pico climatérico es retrasado y suprimido cuando los niveles de  $O_2$  se reducen a valores inferiores a los que se encuentran en el aire.

**d) Dióxido de carbono**

La concentración apropiada de  $CO_2$  prolonga la vida en almacenamiento de las frutas y hortalizas debido a inhibición de la respiración.

**e) Reguladores de crecimiento**

Algunos reguladores del crecimiento, como las hormonas pueden acelerar o inhibir la respiración. Los efectos varían en los diferentes tejidos y dependen de la época de aplicación y de la cantidad que absorba la planta (Barret, 2005).

**f) Lesiones a los frutos**

Dependiendo de la variedad de los frutos y de la severidad de las magulladuras, la lesión puede estimular la respiración, probablemente debido a un efecto indirecto del etileno. Aun una ligera caída o rayadura en la superficie del fruto ocasiona un aumento en la respiración (Wills, 1989).

**1.2.5.2 Alteraciones de la respiración en diversos frutos**

Existe una clasificación más útil de la relación entre la maduración y las alteraciones en la producción de  $CO_2$  en frutas y hortalizas. Se propusieron 3 tipos de patrones respiratorios para los frutos cosechados:

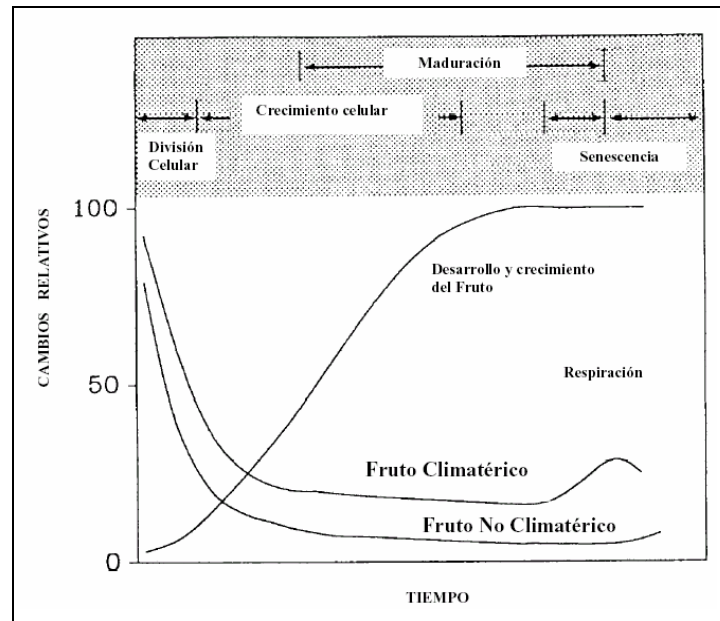
- a) El tipo de disminución gradual.** En el cual la tasa de respiración declina de forma gradual durante el proceso de maduración, como en las frutas cítricas.
- b) Tipo de ascenso temporal.** En donde la tasa de respiración tiene un aumento temporal y la madurez plena ocurre después del pico de la respiración, como ocurre en el tomate, el mango, el banano y el aguacate.
- c) El de pico tardío.** Cuando la tasa máxima de respiración se muestra en las etapas de madurez plena a demasiado maduro, como en el caqui (o persimón) japonés, la fresa y el durazno (Usenik, 2005).

**1.2.5.3 El Climaterio**

En términos botánicos, el climaterio de los frutos corresponde a un período de aumento significativo de la actividad respiratoria asociada al final del proceso de maduración. Este período de respiración climatérica es una fase de transición entre la maduración y la senescencia.



La tasa de respiración de los frutos durante el proceso de maduración determinará si son frutos climatéricos o no climatéricos. Un fruto climatérico permitirá ser cosechado y manipulado en estado pre-climatérico, para luego ser madurado durante su comercialización y transporte, preservando sus características de calidad para el consumidor final. Al estado pre-climatérico, la tasa respiratoria se encuentra a un mínimo, elevándose luego hasta dos o cuatro veces el mínimo pre-climatérico durante la fase final de maduración (ver Figura 4). La determinación del momento oportuno de cosecha de un fruto climatérico es de importancia crucial para asegurar la aparición de las características de calidad en el fruto maduro al final del canal de comercialización (Wills, 1989).



**FIGURA 4.** Patrón de la tasa respiratoria de un fruto Climatérico y uno No Climatérico durante el desarrollo, maduración y senescencia (Flores, 2000)

La medición de una serie de parámetros en muestras de frutos ayudarán a la determinación del momento oportuno de cosecha, entre ellos se tiene:

- Índice de respiración y concentración de etileno
- Tiempo entre la floración y la maduración
- Coloración de semillas
- Reconversión de almidón
- Color de fondo de la cáscara
- Firmeza de la pulpa
- Índice refractométrico (°Brix)
- Concentración de ácidos orgánicos y azúcares en los jugos (Flores, 2000)

Los frutos no climatéricos, por otro lado, no muestran el incremento de la tasa respiratoria durante el proceso de maduración. Si no que por el contrario, muestran una progresiva y lenta tasa respiratoria durante la

senescencia debido a la invasión microbiana y fungosa que conducirá a la descomposición del producto (Pantástico, 1987).

En la siguiente tabla se muestran algunos ejemplos de frutos climatéricos y no climatéricos.

<b>FRUTOS CLIMATÉRICOS</b>	<b>FRUTOS NO CLIMATÉRICOS</b>
Manzana ( <i>Malus sylvestris</i> )	Cereza ( <i>Prunus avium</i> )
Albaricoques ( <i>Prunus armeniaca</i> )	Pepino ( <i>Cucumis sativus</i> )
Aguacate ( <i>Persea americana</i> )	Uva ( <i>Vitis vinifera</i> )
Plátano ( <i>Musa sp.</i> )	Limón ( <i>Citrus limonia</i> )
Chirimoya ( <i>Annona cherimolia</i> )	Piña ( <i>Ananas comosus</i> )
Uva ( <i>Actinidia chinensis</i> )	Mandarina ( <i>Citrus reticulata</i> )
Higos ( <i>Ficus carica</i> )	Fresa ( <i>Fragaria sp.</i> )
Mango ( <i>Mangifera indica</i> )	Naranja dulce ( <i>Citrus sinensis</i> )
Melón ( <i>Cucumis melo</i> )	
Papaya ( <i>Carica papaya</i> )	
Granadilla ( <i>Pasiflora edulis</i> )	
Melocotón ( <i>Prunus pérsica</i> )	
Pera ( <i>Pyrus communis</i> )	
Ciruela ( <i>Prunus sp.</i> )	
Tomate ( <i>Lycopersicon esculentum</i> )	
Sandía ( <i>Citrullus lanatus</i> )	

**TABLA 3.** Clasificación de algunos frutos comestibles de acuerdo con el comportamiento de su respiración durante la maduración organoléptica (Barret, 2005).

#### 1.2.5.4 Efectos del etileno

El etileno es una hormona vegetal que, en conjunto con otras hormonas vegetales (auxinas, giberilinas, quininas y ácido abscísico) controlan el proceso de maduración de las frutas.

El (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) es un gas incoloro que se produce en las frutas climatéricas induciendo su maduración. Este gas se acumula en los tejidos y tiene una intervención de tipo hormonal, participando en el proceso de maduración de las frutas. (Astiasarán, 2003).

También es llamada hormona de la maduración, que se sintetiza a partir de la metionina vía de la S-adenil metionina y el ácido aminociclopropano-1-carboílico: aun en concentraciones muy bajas del orden de 0.1 ppm, este gas causa una fuerte alteración a los sistemas genéticos, que provoca la síntesis de un gran número de enzimas, tales como proteasas, lipasas, amilasas, pectinasas, lipoxigenasas, clorofilasas y otras más (Barret, 2005).

En estas condiciones de actividad enzimática, se establece una complicada red de cambios metabólicos, que se traslapan y se acoplan, que da origen a la conversión del almidón, de las pectinas, de la clorofila, etc., con esto, el fruto verde, duro, astringente, faltar de sabor, etc., se vuelve comestible con características sensoriales aceptables. (Badui, 1999).

Diversos estudios han comprobado que aplicando etileno a los frutos, es posible acelerar el proceso de maduración, lo que se conoce como maduración artificial. (Flores, 2000).

Los frutos climatéricos pueden distinguirse de los no climatéricos en virtud de su respuesta al etileno exógeno y de la pauta de su síntesis por ellos durante la maduración organoléptica. Durante la maduración organoléptica de los frutos climatéricos lo producen en cantidades mucho más elevadas que los no climatéricos (Wills, 1989).

### **1.3 Cambios físicos y químicos ocurridos durante la maduración**

Las frutas climatéricas suelen alcanzar el estadio de plena madurez organoléptica tras haber entrado en el periodo climatérico.

#### **1.3.1 Forma y tamaño**

El tamaño tiene generalmente un valor limitado como índice de madurez de las frutas. Los tamaños grandes indican una madurez comercial excesiva y los pequeños un estadio inmaduro.

#### **1.3.2 Color**

La desaparición del color verde constituye una buena guía con respecto a su grado de madurez. Inicialmente, se produce una pérdida gradual de la intensidad del color verde oscuro, hasta alcanzar una tonalidad más clara.

El color verde se debe a la presencia de la clorofila que es un complejo orgánico de magnesio. La pérdida de color verde es consecuencia a la degradación de la clorofila. Causas primordiales de esta degradación son los cambios de pH (principalmente como consecuencia de la fuga de ácidos orgánicos al exterior de la vacuola) el desarrollo de procesos oxidativos y la acción de las clorofilasas. La pérdida del color verde puede deberse a una sola o a varios de estos factores actuando secuencialmente (Hernández, 2000).

La desaparición de la clorofila va asociada a la síntesis o al desenmascaramiento de pigmentos cuyos colores oscilan entre el amarillo, el rojo o rojo violáceo tales como carotenoides y antocianinas.

#### **1.3.3 Aroma**

En el desarrollo de la calidad comestible óptima, juega un importante papel el aroma. Se debe a la síntesis de numerosos compuestos orgánicos volátiles durante la fase madurativa. La cantidad total de carbono utilizada para la síntesis de volátiles es inferior al 1% expulsada como CO<sub>2</sub>. El cuantitativamente más importantes de los volátiles formados es el etileno, que da cuenta del 50-75% del carbono total de los volátiles. El etileno no contribuye a los aromas típicos de las frutas. La importancia cuantitativa de los compuestos responsables del aroma es, por consiguiente, extremadamente pequeña (Wills, 1989).

#### **1.3.4 Consistencia**

A medida que va alcanzando su madurez fisiológica y ganando en comestibilidad, la fruta se va ablandando, por disolución de la lámina media de sus paredes celulares. Este ablandamiento puede valorarse subjetivamente, mediante presión ejercida con el dedo pulgar, pero también puede medirse objetivamente

obteniendo una expresión numérica de su consistencia, mediante un penetrómetro o medidor de presión (Van, 2005).

### **1.3.5 Sólidos solubles**

El contenido de azúcar se puede medir directamente por procedimientos químicos, pero resulta más fácil e igualmente determinar los sólidos solubles totales del jugo extraído. Generalmente, el contenido de sólidos solubles se incrementa conforme lo hace la madurez del fruto (Pantástico, 1987).

### **1.3.6 pH y Acidez**

La acidez titulable es fácil de determinar en el jugo extraído. Durante la maduración fisiológica y organoléptica decae con frecuencia de un modo muy rápido. La comestibilidad de la fruta suele estar mejor correlacionada con el cociente azúcar / ácido, ó con sólidos solubles totales / ácido, que con las tasas de azúcar o ácidos sólo.

La acidez titulable y el pH no se hallan directamente relacionados, dado que el pH depende de la concentraciones de hidrogeniones libres y de la capacidad tampón del jugo extraído, sin embargo el pH constituye una medida útil, de obtención fácil con ayuda de un potenciómetro barato, por lo que es ampliamente utilizado (Barret, 2005).

### **1.3.7 Carbohidratos**

Cuantitativamente el cambio más importante asociado a la maduración de las frutas y hortalizas es la degradación de los carbohidratos poliméricos; particularmente frecuente es la casi total conversión del almidón en azúcares. Estas transformaciones tienen el doble efecto de alterar tanto el gusto como la textura del producto. El aumento del contenido de azúcares los hace más dulces e incrementa su aceptabilidad (Flores, 2000).

La degradación de los hidratos de carbono poliméricos, especialmente la de las sustancias pécticas y hemicelulosas, debilita las paredes celulares y las fuerzas cohesivas que mantienen unas células unidas a otras. En las etapas iniciales mejora la textura pero finalmente las estructuras vegetales se desintegran (Primo, 1998).

Las sustancias pécticas proceden de un precursor insoluble, la protopectina que, además de ser un macropolímero, se halla ligado por enlaces cruzados a otras cadenas poliméricas a través de puentes de calcio y está unido a otros azúcares y derivados fosforilados de los mismos, dando así origen a polímeros de enorme tamaño. Durante la maduración la protopectina va gradualmente degradándose a fracciones de peso molecular más bajo que son más solubles en agua. La velocidad de degradación de las sustancias pécticas está directamente correlacionada con la de ablandamiento de la fruta (Roe, 1981; Astiasarán, 2003).

### **1.3.8 Ácidos orgánicos**

Ordinariamente, durante la maduración, los ácidos orgánicos son respirados o convertidos en azúcares. Los ácidos pueden ser considerados como una reserva energética más de la fruta, siendo por consiguiente de

esperar que su contenido decline en el periodo de actividad metabólica máxima durante el curso de la maduración (Barret, 2005).

**1.3.9 Compuestos nitrogenados**

Tanto las proteínas como los aminoácidos libres constituyen componentes minoritarios de las frutas que no parecen jugar papel alguno en la determinación de la calidad comestible. No obstante, si se dan modificaciones en los constituyentes nitrogenados, que presentan cambios de la actividad metabólica, en las distintas fases del crecimiento. Durante el periodo climatérico se produce en numerosos casos un descenso en la tasa de aminoácidos libres que, con frecuencia, no es sino un reflejo del incremento de la síntesis proteica. Durante la senescencia aumenta en cambio el nivel de aminoácidos libres lo que revela una degradación de las enzimas y un descenso de la actividad metabólica (Wills, 1989).

La observación de que los aminoácidos metionina y/o β-alanina posiblemente pueden actuar como precursores inmediatos del etileno en los tejidos de frutas y hortalizas, hace resaltar la importancia del metabolismo de los aminoácidos en la maduración de los frutos.

Cambios en el nivel y actividad de proteínas resultan de los cambios de permeabilidad en las membranas de las células que pueden estar envueltas en daños por frío. Las enzimas, son proteínas que participan en procesos de catabolismo en frutas, son importantes en las reacciones involucradas en la madurez y senescencia de los frutos. Dentro de las enzimas importantes para la calidad de las frutas incluyen las siguientes:

ENZIMA	ACCIÓN
<b>Polifenoloxidasas</b>	Cataliza la oxidación de fenoles, resultando la formación del oscurecimiento de polímeros.
<b>Poligalacturonasa</b>	Cataliza la hidrólisis de enlaces glucosídicos entre ácido poligalacturónico adyacente a residuos de pectina: resultados en ablandamiento de tejidos.
<b>Pectinesterasa</b>	Cataliza desesterificación de galacturona en pectina; puede modificar la firmeza en de tejido.
<b>Lipoxigenasa</b>	Cataliza la oxidación de lípidos produciendo mal olor y sabor.
<b>Acido ascórbico oxidasa</b>	Cataliza la oxidación de ácido ascórbico; provocando pérdidas en la calidad nutricional.
<b>Clorofilasa</b>	Cataliza la remoción del anillo de fitol de la clorofila dando como resultado la pérdida del color verde.

**TABLA 4.** Enzimas que influyen en la calidad de los frutos y vegetales (Barret, 2005).

**1.3.10 Compuestos fenólicos**

El contenido total de compuestos fenólicos en frutos inmaduros es mayor que en maduros y típicamente los intervalos oscilan entre 0.1 y 2 g / 100 g de peso fresco. Los compuestos fenólicos que se encuentran en frutos son: ácido clorogénico, catequina, epicatequina, leucoantocianidinas, flavonoles, ácido cinámico y fenoles simples (Flores, 2000).

Ácido clorogénico (éster de ácido cafeico) se encuentra ampliamente presente en frutos y es el principal sustrato envuelto en el oscurecimiento enzimático de corte dicho de otro modo de los daños de los tejidos de las frutas cuando son expuestos al aire (Bedolla, 2003).

Oscurecimiento enzimático ocurre debido a la oxidación de compuestos fenólicos y está mediado, en presencia de oxígeno, por la enzima polifenoloxidasas (PPO). El producto inicial de la oxidación es usualmente O-quinona, el cual es altamente inestable y conlleva a la polimerización de pigmentos pardos de alto peso molecular.

Normalmente los compuestos fenólicos están separados de la enzima PPO en las células intactas del tejido de la planta. Una vez que el tejido es dañado, PPO y los compuestos fenólicos que actúan son descompartmentalizados y ocurren las reacciones anteriormente citadas provocando el oscurecimiento de los tejidos. La continuación del oscurecimiento depende de la cantidad total de compuestos fenólicos en el tejido y del nivel de actividad de la PPO (Wills, 1989).

La astringencia está directamente relacionada con el contenido fenólico y este usualmente disminuye con la maduración de los frutos debido a la conversión de compuestos fenólicos astringentes de las formas no astringentes solubles e insolubles. La pérdida de la astringencia ocurre vía 1) enlazando o polimerizando compuestos fenólicos 2) cambio en el tamaño molecular de los compuestos fenólicos y 3) cambio en el patrón de hidroxilación de compuestos fenólicos (Primo, 1998).

Existe una amplia relación entre el contenido fenólico y la capacidad antioxidante de los frutos y sus productos.

#### **1.3.11 Características eléctricas**

Durante la maduración se han observado modificaciones de la resistencia o capacitancia consecutivas de las experimentadas por los electrolitos disueltos. La determinación de estos valores es útil en el laboratorio, pero carece de aplicaciones prácticas (Lewis, 1993).

#### **1.3.12 Actividad respiratoria**

La madurez comercial puede relacionarse con el incremento de la actividad respiratoria en los frutos climatéricos. En la práctica es necesario correlacionar el punto apropiado de la gráfica que representa la actividad respiratoria a lo largo del ciclo vital con alguna característica que pueda ser fácilmente apreciada en el campo. Para indicar el grado de madurez fisiológica en el momento correcto de proceder a la recolección, se ha elaborado el concepto de "vida verde", que es también una expresión útil de la vida potencial tras la recolección. Por vida verde se entiende el periodo que media entre la recolección y el comienzo de la maduración organoléptica (Gallegos, 1997).

## **1.4 Métodos de medición**

### **1.4.1 Color**

#### **1.4.1.1 Definición**

El color es el efecto de un estímulo sobre la retina que lo transmite al cerebro donde es interpretado. El estímulo consiste en la luz reflejada o transmitida por un objeto a partir de la luz que incide sobre él.

El ojo humano percibe la luz visible ( $380 \text{ nm} < \lambda < 780 \text{ nm}$ ) y aprecia tres características: el tono o tipo de color, que responde a la dominancia de unas radiaciones a determinadas longitudes de onda sobre otras (rojo, amarillo, azul); la saturación o pureza, que describe el grado en que un color se separa del gris neutro y se acerca a un color puro del espectro (más rojo o menos rojo según la cantidad de gris presente en el color); la luminosidad o claridad, que es la cantidad de luz reflejada o transmitida por un objeto dentro de un mismo tono y saturación (brillante, luminoso). Un objeto puede absorber, reflejar o transmitir parte de la luz que le llega. La proporción de luz que refleja o transmite puede variar según la longitud de onda de la luz incidente, debido a que los pigmentos no absorben de igual forma a todas las longitudes de onda (Cheftel, 1999).

El color es un factor importante para valorar la calidad de un alimento. Éste parámetro frecuentemente está ligado a la maduración, presencia de impurezas, realización apropiada o defectuosa de un tratamiento tecnológico, malas condiciones de almacenamiento, comienzo de una alteración por microorganismos, etc. Por esto se basan en el color varios métodos oficiales para valorar la calidad de los alimentos (Manual Minolta).

El color de las frutas se debe a los pigmentos localizados en los plastos, vacuolas y en el líquido citoplasmático de las células. Los pigmentos más característicos pertenecen a cuatro grandes grupos: las clorofilas, los flavonoides, las antocianinas y los carotenoides. La pigmentación de la piel en la mayoría de frutos va variando durante el período de crecimiento y durante la maduración (Hernández, 2000).

Las antocianinas son glucósidos formados por una molécula de antocianidina (aglucon) unida a un carbohidrato como por ejemplo: glucosa, ramnosa, galactosa y arabinosa (Delgado, 1985).

En general, las antocianinas se encuentran en la piel, pero también se pueden encontrar en la porción carnosa de las frutas y se hallan disueltas en el jugo celular. Sus colores son rojo, azul o violeta. El color de cada antocianina depende de su estructura química, del pH al que se encuentra y de la presencia de sales con las que interaccione. Estos pigmentos son poco estables, la presencia de oxígeno, la temperatura, tanto durante el procesado como en el almacenamiento, y otros factores como la luz y el pH influyen en la pérdida del color de las mismas. Los productos de degradación de los azúcares, en particular el furfural y el 5-hidroximetilfurfural, también aceleran la degradación de las antocianinas (Bueno, 1997).

Los flavonoides tienen una estructura química similar a las antocianinas, y normalmente se encuentran junto con ellas en los frutos. Los azúcares unidos a los aglucones son, generalmente, glucosa, ramnosa,

galactosa, arabinosa y xilosa, y en algunos casos, es el disacárido rutinosa. En general los flavonoides son de color amarillo y naranja, pero participan muy poco en la coloración de las frutas (Primo, 1998). Son más estables que las antocianinas al calor y a las reacciones de oxidación.

Los carotenoides son responsables del color amarillo, naranja y rojo de las frutas. En las frutas se encuentran en forma libre, disueltos en lípidos, como ésteres, o combinados con azúcares o proteínas y generan diferentes colores según la manera en que interaccionen. Los carotenoides son relativamente resistentes al calor y a pH extremos, pero por el contrario, son muy sensibles a la oxidación, reacción catalizada por la luz, lipoxidasas y peróxidos lipídicos. Los carotenoides tienen mucha importancia no sólo por el color que confieren a los alimentos, sino porque son los precursores más importantes de la vitamina A en el hombre. En general, son más abundantes en la piel de las frutas que en la porción carnosa (González, 2002).

La clorofila es tal vez el pigmento vegetal que más abunda en la naturaleza, ya que en la mayoría de las plantas la contienen en diversas concentraciones. Es el pigmento verde presente en los frutos jóvenes. A medida que las frutas maduran se produce un viraje de color, como consecuencia de la desaparición de la clorofila y de la formación de nuevos pigmentos. En los xoconostle cuando se alcanza la madurez, la clorofila desaparece casi por completo. La estructura química de la molécula de clorofila es muy compleja y fácilmente alterable por diferentes agentes físicos y químicos como son los cambios de pH, el desarrollo de procesos oxidativos y la acción de las clorofilasas. (Hernández, 2000).

Una molécula de clorofila tiene cuatro grupos pirroles, cada uno con un anillo de cinco miembros formado por cuatro átomos de carbono y uno de nitrógeno. Los cuatro grupos pirroles se unen para formar un anillo de porfirina como en la mioglobina. En lugar del átomo de hierro en la molécula de mioglobina, la clorofila contiene magnesio. El alcohol fitól está unido por un enlace éster a uno de los grupos pirroles y el alcohol metílico a otro. El residuo fitil con 20 átomos de carbono en la cadena, es la parte de la molécula que confiere a la clorofila su solubilidad en compuestos grasos (Cheftel, 1999).

Dos son las formas de la clorofila, la clorofila a, que tienen un color verde intenso y la clorofila b, de color amarillo verdoso más opaco, se encuentran en las plantas de la tierra. Las dos clorofilas están presentes en una proporción aproximada de tres partes de clorofila a con una parte de clorofila b. La diferencia entre ambas clorofilas es tan sólo un grupo de formil en la b en el lugar en que se encuentra un grupo metil en la variedad a.



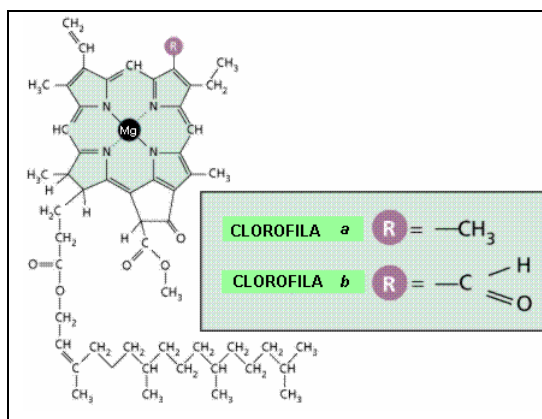


FIGURA 5. Estructuras de las clorofilas a y b. (González, 2002)

El modo de degradación de la clorofila sólo se conoce parcialmente; parece que puede seguir varios caminos ver figura 6.

La salida del magnesio, según la vía 1, está catalizada por los iones  $H^+$ , así como por el calor; ésto se observa durante la cocción (en agua o vapor) y esterilización. El calor provocaría la coagulación de una lipoproteína, a la cual la clorofila está normalmente fija y por la que estaría protegida. El hidrógeno al reemplazar al magnesio da un compuesto verde grisáceo pálido conocido como feofitina a o bien se obtiene una feofitina b color verde oliva.

La eliminación de fitol, según la vía 2, está catalizada por la clorofilasa; esta enzima, bastante resistente al calor, sólo se encuentra en algunos vegetales; estaría localizada en los cloroplastos y únicamente se activaría durante la maduración.

Las oxidaciones según la vía 3 se harían por foto – oxidación (oxígeno + luz), ya sea por contacto de lípidos oxidados o por la acción de una lipoxidasa.

También pueden producirse estas oxidaciones con vegetales deshidratados, almacenados a una humedad relativa inferior al 30%; por el contrario, cuando la humedad relativa de la atmósfera ambiente es superior, lo que ocurre es la transformación en feofitinas (vía 1) (Cheftel, 1999).

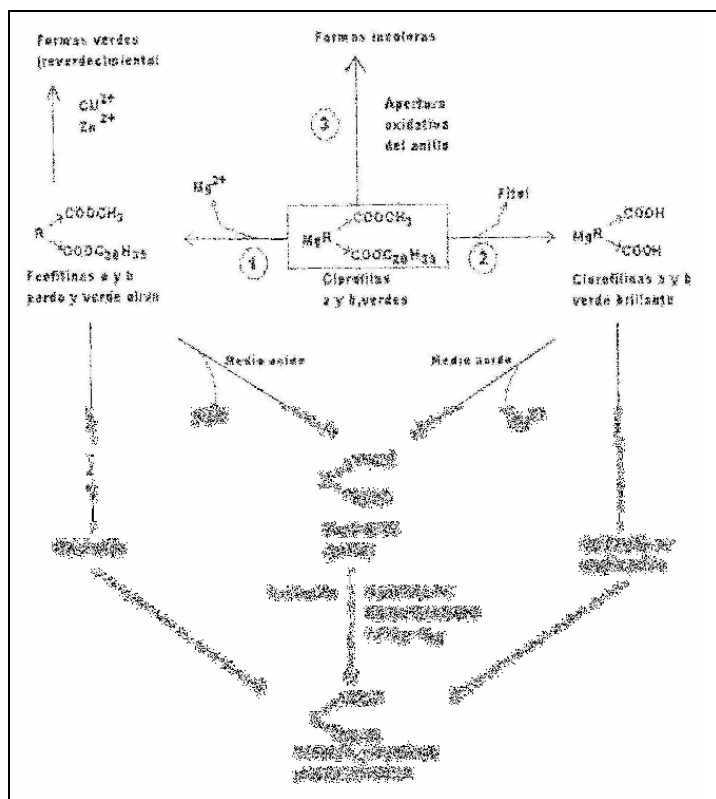


FIGURA 6. Vías de degradación de las clorofilas a y b (Cheftel, 1999).

### 1.4.1.2 Escalas de color

La sensación de color percibida por un observador depende de las características del producto, del color e intensidad de la iluminación y del estado anímico en se encuentre. Por lo que el ojo humano no resulta un medio objetivo para realizar medidas de color (McGuire, 1992).

Todo lo anterior muestra la necesidad de aplicar métodos instrumentales de medida, basados en las teorías físicas del color, que permitan interpretar, definir y comparar entre sí los diferentes colores de una forma objetiva y, al mismo tiempo, fácilmente reproducible. Entre los métodos más utilizados se encuentran los basados en medidas espectrofotométricas y posterior tratamiento matemático de los distintos parámetros indicativos del color (Jha, 2005).

La visualización del color se realiza por comparación de estándares de color, atlas, cartas, abanicos o comparadores especiales de color, en donde la muestra es comparada; todos estos desarrollos para estudiar las propiedades básicas del color. Entre los más sobresalientes se encuentran los realizados por Munsell (1929), Oswald (1931), CIE (1931) y Hunter 1942).

### 1.4.1.3 Sistema Munsell

El sistema Munsell se encuentra basado en el principio de la percepción visual de pequeñas diferencias de color, este sistema a la vez muestra una colección de pinturas que representan intervalos iguales en la percepción de color para diferencias entre muestras adyacentes, y el sistema describe todos los posibles

colores en términos de las coordenadas. Tono Munsell (H), Valor Munsell (intensidad luminosa) y Cromo Munsell. Estas coordenadas corresponden a tres variables comúnmente usadas para describir el color: Tono, Cromo y luminosidad.

Las muestras del libro de color de Munsell están usualmente dispuestas o arregladas en planos o bien páginas de tono, (matiz) constante. En cada página las muestras están arregladas por Valor Munsell en dirección vertical y por Cromo Munsell en la dirección horizontal. Una escala de grises, con el blanco en la cima y el negro en el fondo. El espacio Munsell se representa con un árbol con ramas de diferente longitud. El espacio se construye según coordenadas cilíndricas. Cada muestra porta una notación Munsell que denota suposición; ésta notación consiste en tres símbolos que representan el Tono, Valor y Cromo Munsell en este orden. El Tono Munsell es expresado por la combinación de un número y una letra 5Y ó 2GY donde las letras son tomadas de los diez nombres del tono (Rojo, Amarillo, Verde, Azul, Púrpura, y de las cinco parejas adyacentes a estos, ejemplo Verde – Amarillo) y los números corren del 1 al 10. El valor y croma Munsell son escritos después de la designación del tono y están separados por una línea diagonal (/). Un típico Munsell completo designado es 5 Y 5/6.

Dos características sobresalientes del sistema Munsell contribuyen a su provecho y amplia aceptación. La primera es que iguala la percepción visual dentro de los límites de croma, las muestras se encuentran tabuladas en el libro Munsell de Color. No hay otro sistema tan bueno en este aspecto, el sistema Munsell es el estándar de todos los demás sistemas. El segundo mayor avance es la notación ya que cualquier otro color existente puede ser ajustado dentro del sistema y de esta forma ser reproducido por colorantes (Manual Minolta).

#### **1.4.1.4 Sistema Ostwald**

En el sistema Ostwald los colores son descritos como “saturación de color”, “contenido blanco” y “contenido negro”; basados en términos de idealización de curvas espectrométricas que se obtienen a partir del estudio de los colores. La organización del sistema Ostwald enfatiza en las escalas de color, teniendo un contenido constante el tono, contenido constante de negro y contenido constante de blanco, éste sistema es particularmente importante para pintores, artistas, fabricantes de tinta y todos los que trabajan con mezclas de pigmentos coloreados con negro y blanco, en la figura 12 se muestra como son tabulados los colores, la gráfica está determinada por la longitud de onda de las partes verticales de la curva espectral de reflectancia.

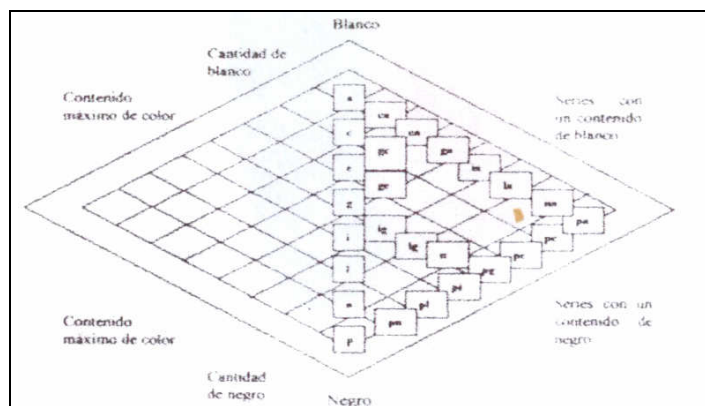


FIGURA 7. Sistema ajustado de coordenadas de color del sistema Ostwald (Citado en Sandoval, 2003).

Una colección de muestras arregladas con los principios del sistema Ostwald es conocida como el Manual de Armonía del color, en donde se encuentran más de 900 muestras con tonos brillantes y tonos moteados, se arreglan en grupos por tono de Ostwald. Cada grupo contiene un pigmento aproximado a un “semicroma” Ostwald (color que no contiene blanco o negro) y mezclas de el con negro y blanco, formando escalas de saturación del negro, saturación de blanco y saturación de color (citado en Sandoval, 2003).

#### 1.4.1.5 Sistema CIE (Comisión Internacional de Iluminación)

La medida del color está normalizada a nivel internacional desde la reunión de la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) celebrada en París en 1931 (Jha, 2005). En esta reunión se estableció una nomenclatura y un espacio de color conocido como sistema CIE. Este sistema se basa en la posibilidad de reconstruir cualquier estímulo coloreado mediante una mezcla de cantidades adecuadas de tres estímulos fundamentales de color. La CIE estableció como colores fundamentales el rojo, el verde y el azul y se designaron como X, Y y Z. Por lo tanto, cualquier diferencia de color se manifestará como un  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ , o  $\Delta Z$ , diferentes de cero, donde  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ , o  $\Delta Z$  son las diferencias entre cada uno de los valores triestímulo de los colores en cuestión (Manual Minolta).

Este sistema es excelente para representar mezclas aditivas, siendo además muy sencillo de manejar; sin embargo, es muy poco uniforme, por lo que con mucha facilidad conduce al usuario no familiarizado con él a errores.

Todo el color es así únicamente especificado para este grupo de tres primarios imaginarios: rojo (x), verde (y) y azul (z), dando datos más intuitivos y fáciles de interpretar, estos valores triestímulos son usados para convertir a otras escalas de color.

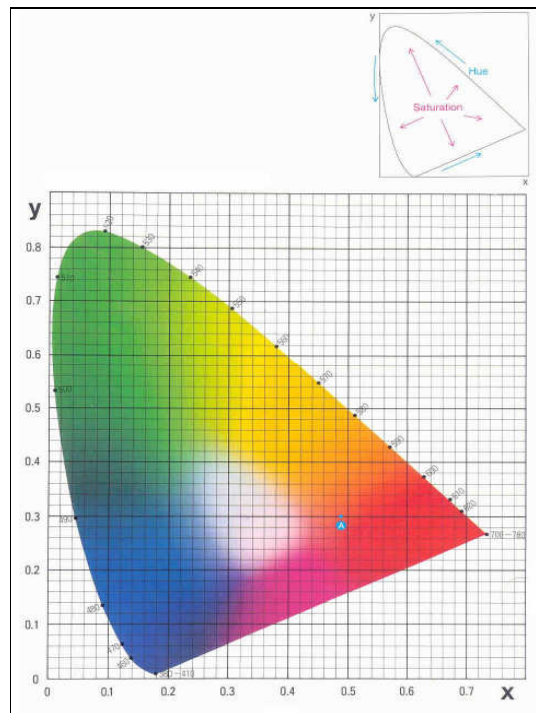


FIGURA 8. Coordenadas de cromaticidad Y, x, y (Manual Minolta)

El valor triestímulo “x”, “y” y “z” se utiliza para definir el color, pero los resultados, no son fáciles de visualizar, por lo que la CIE definió el espacio de color en 1931 por una gráfica de color en dos dimensiones, independientes de luminosidad; este es el color de espacio Y, x, y, en el cual Y es luminosidad (y es igual al valor triestímulo Y) y x y y son las coordenadas de cromaticidad calculadas a partir del valor triestímulo.

El diagrama de cromaticidad CIE x, y para el espacio de color se muestra en la figura 8. en este, los colores acromáticos se encuentran alrededor del centro del diagrama y la cromaticidad aumenta hacia el filo. Si se hace una medición utilizando el espacio de color Y,x,y, se obtienen los valores x, y como coordenadas de cromaticidad (Cheftel, 1999).

#### 1.4.1.6 Espacio de color L\*, a\*, b\*

Es actualmente uno de los más populares espacios de color para medir el color del objeto y es muy utilizado de todos los campos virtuales, lo definió la CIE en 1976 para reducir uno de los mayores problemas del original espacio de color Y, x, y. Las distancias son iguales sobre x, y del diagrama de cromaticidad no corresponden a la percepción de las diferencias de color. El espacio de color L indica la cromaticidad, a y b la cromaticidad.

La relación entre el espacio de color L, a, b y los valores triestímulos se presentan por ecuaciones, las cuales son:

$$L = 10 \sqrt{Y}$$

$$A = 17.5(1.02 X - Y) / \sqrt{Y}$$

$$B = 7 (Y - 0.847 Z) / \sqrt{Y}$$

En el espacio de color L, a, b las diferencias de color pueden expresarse como un solo valor numérico delta E ab se define como:

$$\Delta E_{ab} = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

### 1.4.1.7 Escalas de color Hunter

Hunter desarrolló colorímetros que leen directamente el reflejo de la luz, los cuáles están basados en las coordenadas de la escala CIE. A partir de éste estudio se desarrollaron la escala de CIE L\*, a\*, b\* (figura 9) y la Hunter L, a, b. Cualquiera de las dos escalas proporciona información significativa, aunque la mayor parte de los investigadores, utiliza el sistema CIE L\*, a\* b\* para la medición de color. Las escalas de color Hunter L, a, b y CIE L\*, a\*, b\* son dos sistemas que miden el grado de luminosidad (L), y a y b la cromaticidad.

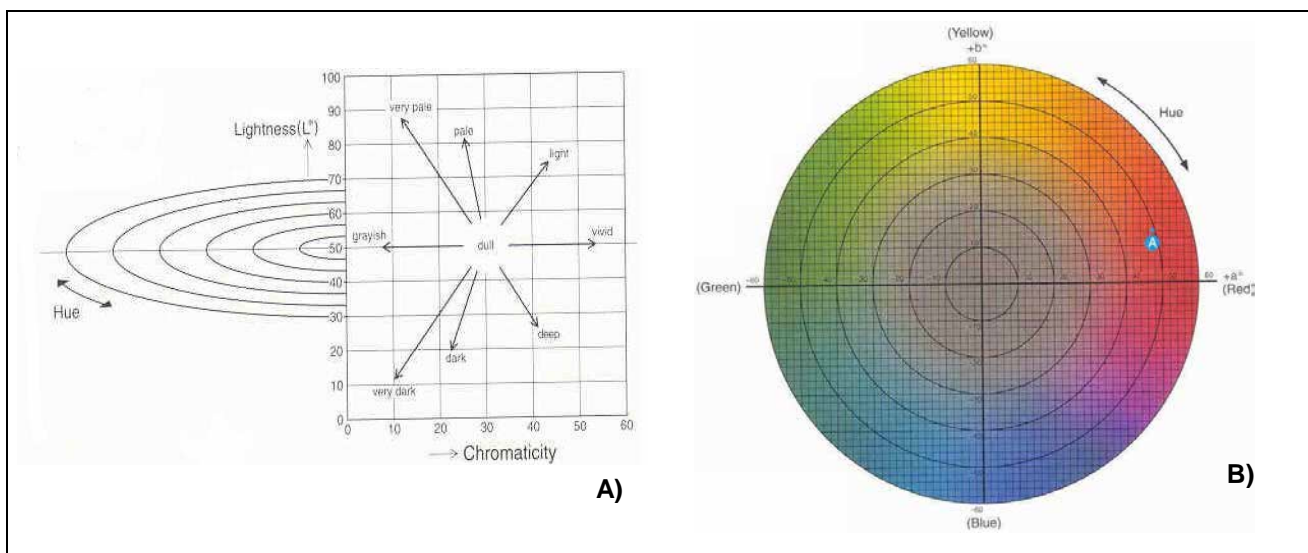


FIGURA 9. A) Cromaticidad y luminosidad, B) Diagrama de cromaticidad a\* y b\* (Manual, Minolta)

En el diagrama de cromaticidad, el valor de a y b indican las direcciones de color, + a es la dirección roja, - a es la dirección verde, + b es la dirección amarilla y - b es la dirección azul. El centro es acromático, cuando los valores de a y b se incrementan y el punto se mueve fuera del centro, la dispersión de color se incrementa (Figura 10).

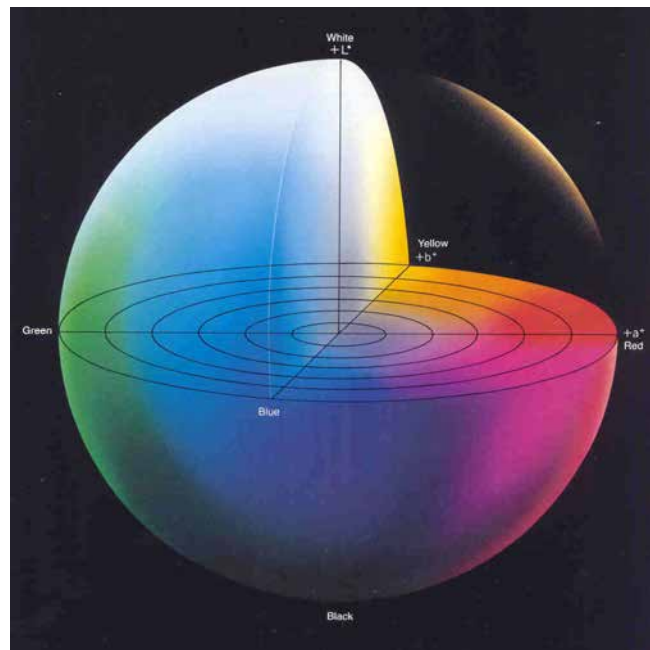


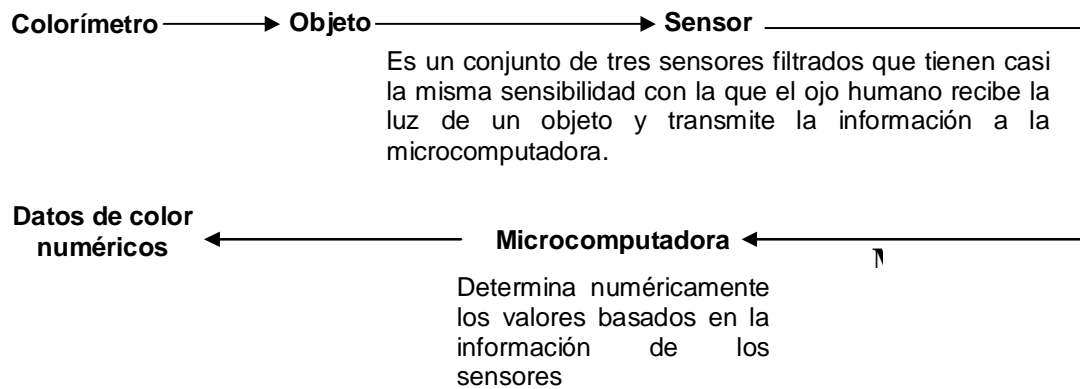
FIGURA 10. Sólido tridimensional (Manual, Minolta).

#### 1.4.1.8 Espacio de color $L^*C^*h^*$

El espacio de color  $L^*C^*h^*$  emplea el mismo diagrama que el espacio de color  $L^*a^*b^*$  pero utiliza coordenadas cilíndricas en vez de rectangulares. En este espacio de color  $L^*$  indica la luminosidad y es la misma que  $L$  en el espacio de color  $L^*a^*b^*$ ,  $C^*$  es croma y  $h$  es el ángulo de tono. El valor de croma  $C^*$  es 0 en el centro y se incrementa de acuerdo a la distancia que existe del centro. El ángulo de tono es definido inicialmente en el eje  $+a^*$  y es expresado en grados;  $0^\circ$  deben ser en  $+a^*$  (rojo),  $90^\circ$  deben ser en  $+b^*$  (amarillo),  $180^\circ$  deben ser en  $-a^*$  (verde) y  $270^\circ$  deben ser en  $-b^*$  (azul). (Manual Minolta).

El humano y los colorímetros ven de forma diferente el color. El ojo humano ve el color en términos de claridad “valor”, esta cualidad del color se describe por las palabras luminosidad, obscuridad, oscuro, etc., tono (nombre de color, azul, rojo, etc.) y croma (hasta cierto punto describe la pureza del color), estos integran algunas de varias señales complejas dentro de estos tres componentes. Los colorímetros no tienen la capacidad de integrarse directamente y así tienen que romper lo señalado descendiendo dentro de una construcción simple. Los instrumentos van en términos de claridad o luminosidad  $L$ , se representa en una escala de 0 a 100 y varía de negro (0) a blanco (100), mientras que  $a$  y  $b$  expresan cromaticidad, así  $a$  varía de verdes a rojos y  $b$  de azul a amarillos. El lenguaje del instrumento mide  $L$ ,  $a$ ,  $b$  puesto que tono, croma y claridad son términos relacionados a la percepción humana. Se puede convertir el lenguaje del colorímetro por medio de unos simples cálculos matemáticos, a números que tienen relevancia para los humanos (Mc Guire, 1992).

Aunque el ojo humano no puede cuantificar los colores, existen colorímetros que hacen simple la medición, ya que expresa numéricamente colores de acuerdo a estándares internacionales. El funcionamiento de un colorímetro es el siguiente:



Manual Minolta

Las mediciones que se obtienen de un colorímetro son:

Valor triestímulo X, Y, Z

Espacio de color Y, x, y

Espacio de color L, a, b

Espacio de color L, C, h

Espacio de color del laboratorio Hunter HL, a, b (Manual Minolta).

Aunque la percepción de una persona de un sólo color puede cambiar dependiendo del fondo o de la fuente de luz que ilumina el color, los colorímetros tienen una sensibilidad que corresponde a la del ojo humano, ya que siempre toman mediciones utilizando la misma fuente de luz y el método de iluminación; las condiciones de medición pueden ser las mismas a pesar del clima, si es de día o de noche, una habitación cerrada o abierta (Cheftel, 1999). En la figura 11 se observa el colorímetro empleado en este trabajo.



FIGURA 11. Colorímetro Minolta.

#### 1.4.2 Textura

La textura es un factor importante en la calidad del alimento, está relacionada con propiedades físicas y químicas, percibidas por vía ocular antes del consumo, por el sentido del tacto, por distintos receptores sensoriales de la boca durante el consumo y por el sentido del oído. De este modo el consumidor se da cuenta de todo un conjunto de características texturales que se derivan de distintas propiedades fisicoquímicas del



alimento tales como tamaño y forma generales, tamaño de partícula, contenido en grasa, estructura y propiedades mecánicas. La textura describe el atributo de un producto alimenticio que resulta de una combinación de propiedades físicas y químicas, percibidas en gran medida mediante los sentidos del tacto, vista y oído.(Rossenthal, 2001).

**1.4.2.1 Evaluación de la textura por métodos sensoriales**

La textura es más una característica psicológica o sensorial que una propiedad física y puede solamente ser medida mediante técnicas sensoriales que implican el uso de jurados de catadores, tanto entrenados como sin entrenar. No obstante consumen mucho tiempo y la fiabilidad de sus resultados depende en gran medida del diseño correcto y de la aplicación inteligente de los experimentos, así como de la aptitud y cooperación de los asesores sensoriales (Lewis, 1993).

Las características texturales están a menudo asociadas con intervalos más o menos distintos del proceso de masticación. La interpretación completa de los datos del perfil de textura necesita normalmente técnicas estadísticas sofisticadas, del tipo del análisis de varianza y el análisis de componentes principales (Rossenthal, 2001).

Debe notarse que las características texturales se dividen en tres clases según sus orígenes probables, que surgen de las propiedades mecánicas, geométricas y otras del alimento.

<b>Características mecánicas</b>	<b>Características geométricas</b>	<b>Otras características</b>
Dureza Cohesividad Viscosidad	Pulverulenta Como la tiza Granulosa	Humedad Untuosidad
Esponjosidad (elasticidad) Adhesividad Fracturabilidad	Arenosa Gruesa Aterronada	
Mascabilidad Gomosidad	Espumosa Escamosa Fibrosa Pulposa Celular Aireada Ahuecada Cristalina	

**TABLA 5.** Clasificación de las características texturales según sus orígenes probables (Lewis, 1993).

**1.4.2.2 Evaluación de la textura mediante técnicas instrumentales**

Un atributo de la textura es la manifestación (ó los resultados) de una combinación de propiedades físicas y químicas que incluyen la forma, tamaño, número, naturaleza y disposición de los elementos estructurales constituyentes. Son a menudo un reflejo de la estructura del producto; a menudo puede conducir a una mejor comprensión de sus propiedades físicas, y, en último término, de sus características texturales (Van, 2005).

Los instrumentos pueden medir una única propiedad física, pero más frecuentemente miden la mezcla de una serie de propiedades físicas del producto bajo estudio; son métodos indirectos de medición de la textura y están relacionados conceptual y estadísticamente con los obtenidos por métodos sensoriales, los cuales deben ser contemplados como definitivos.

La medición de la textura se ve afectada por el tamaño del área superficial para la deformación del producto por el punzón, la geometría de la muestra, los medios de soporte y la interacción del instrumento así como la muestra (Lewis, 1993).

Se ha desarrollado para la evaluación de la textura un gran número de instrumentos que se basan en la deformación de una muestra. Se clasifican normalmente en tres categorías; métodos fundamentales, métodos imitativos y métodos empíricos.

1. **Métodos fundamentales.** Son aquellas en las cuales se determinan funciones materiales bien definidas, tales como el módulo de elasticidad, la viscosidad, los módulos dinámicos, etc. Por lo que, en todos los casos el comportamiento reológico del alimento puede ser descrito matemáticamente.
2. **Métodos imitativos.** Diseñadas para simular las condiciones de proceso o condiciones prácticas de esfuerzo y deformación relativa, en casos especiales miden propiedades reológicas bajo condiciones geométricas similares a las que se dan en la práctica, por ejemplo, simulación de la masticación en la boca.
3. **Métodos empíricos.** En las cuales se determinan parámetros que no pueden ser expresados en términos de unidades reológicas fundamentales, pero que son útiles pues se correlacionan con uno o más atributos texturales y de este modo pueden emplearse como medida indirecta de tales atributos. Además los equipos utilizados son simples, rápidos y reproducibles. Por otra parte exhiben facilidad de operación y no son comparativamente caros. Con frecuencia éstos parámetros dependen de la geometría de la muestra y de las condiciones de la prueba. (Cheftel, 1999). La fuerza puede aplicarse en varias formas como se muestra en la figura 12.

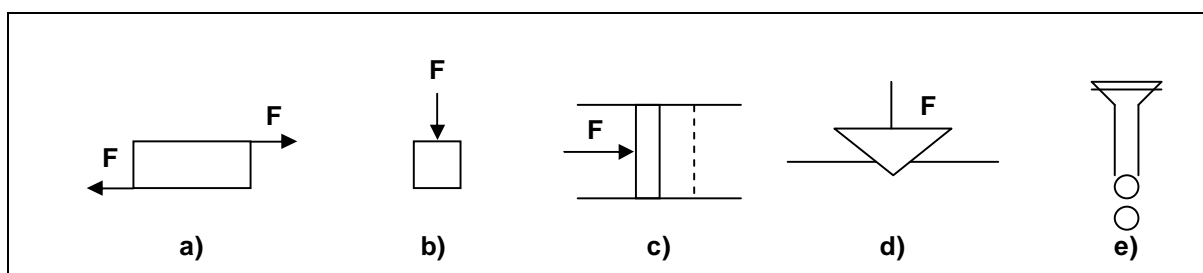


FIGURA 12. Fuerzas empleadas para análisis de textura en alimentos a) cizalla, b) compresión, c) extrusión, d) penetración, e) flujo (Lewis, 1993).

La ventaja de los procedimientos empíricos estriba en que son muchos más rápidos y simples que las determinaciones fundamentales; el inconveniente de los mismos consiste en que los resultados son específicos

del instrumento utilizado. Las pruebas empíricas tienen que ser correlacionadas estrictamente con el comportamiento del producto, de lo contrario su valor resultaría muy dudoso.

Entre los dos tipos principales de instrumentos de medición por métodos empíricos se encuentran los que miden la fuerza y los que miden la distancia. Los primeros miden la fuerza requerida para penetrar, comprimir, deformar o extruir un alimento. La fuerza empleada causa en el alimento una compresión irreversible. La profundidad de penetración se mantiene constante y se mide la fuerza ejercida. En el equipo medidor de distancia, el alimento se somete a una fuerza constante y se mide la deformación (Bedolla, 2003).

#### **1.4.2.3 Pruebas de penetración**

Para el control de calidad y el desarrollo de productos en las áreas farmacéuticas (cremas, cosméticos, polvos y tabletas), química (grasas, ceras, lubricantes) y de alimentos (grasa, mantequillas, queso, geles, pan, frutas, chocolate, etc.), se utilizan comúnmente las pruebas de textura para evaluar propiedades texturales de los alimentos, destacan las pruebas de penetración o punción.

La penetrometría se refiere a la penetración o surgimiento de un dispositivo o cuerpo en el material de prueba. Si las condiciones de prueba se estandarizan es posible obtener importante información acerca de la consistencia del producto (Pantástico, 1987).

Para tal fin, existen instrumentos comerciales que miden fuerzas o en su defecto distancias ya que el material es sometido a una combinación de compresión y cizallamiento. El equipo medidor de fuerzas mide la fuerza requerida para penetrar, comprimir, deformar o extruir un alimento. La sonda es empujada en el alimento, causando compresión irreversible o flujo del alimento; la profundidad de la penetración se mantiene constante y la fuerza ejercida por el alimento es medida. En el equipo medidor de distancia, el material se somete a una fuerza constante y se mide la deformación. Uno de los instrumentos más ampliamente utilizados dentro de esta categoría es el penetrómetro de cono. El equipo de evaluación empírica varía ampliamente en costo y complejidad. Muchos de los instrumentos más sofisticados son capaces de utilizar ambos sistemas (Wills, 1989).

##### **1.4.2.3.1 Penetrómetro**

El penetrómetro es un dispositivo razonablemente sencillo para medir la distancia a la que un cono o varilla penetra en un alimento en un tiempo determinado. En su forma más simple el cono está colocado sobre la superficie del alimento y se descarga durante un tiempo determinado. Al final de dicho tiempo, la sonda se fija mediante una mordaza y se mide la profundidad de penetración sobre una escala graduada.

La profundidad de penetración dependerá del peso del cono y del ángulo, el tipo del material, su temperatura y el tiempo de penetración. Las condiciones experimentales deberán de mantenerse uniformes (Lewis, 1993).



**FIGURA 13.** Penetrómetro Humboldt

Como resultado puede producirse un flujo en materiales sólidos o semisólidos debido a la debilidad de la estructura y en materiales de estructura más fuerte el material se cizalla y se comprime además del flujo. Mientras tanto, en materiales sólidos la prueba es generalmente de tipo destructivo.

Los penetrómetros para frutos constan de un dispositivo cilíndrico de diferente diámetro unido a un soporte calibrado y un indicador de carátula que registra en lb o kg la fuerza ejercida manualmente para que el dispositivo penetre hasta cierta distancia determinada por un tope, ver anexo 2.

A continuación se mencionan los principales tipos de penetrómetros:

- Penetrómetros de peso constante. Son los más sencillos y operan por medio de la acción de la gravedad en donde la velocidad a la que se introduce el dispositivo al alimento es variado.
- Penetrómetros de velocidad constante (el dispositivo se introduce a velocidad controlada).
- Penetrómetros con indicador digital de distancia y / o tiempo.
- Penetrómetros que miden fuerza (dinamómetro).
- Penetrómetros con registradores para curvas fuerza – tiempo.
- Texturómetros que entre otras pruebas realizan penetración (citado en Sandoval, 2003).

Para asegurar que cualquier trabajo experimental es reproducible, es necesario citar el tamaño de la sonda, la temperatura de la muestra, la velocidad de la sonda y cualquier otra información pertinente, junto con los propios resultados experimentales (Rossenthal, 2001).

### **1.4.3 Actividad de agua**

#### **1.4.3.1 Definición**

El agua juega un papel muy importante en la estabilidad de los alimentos frescos, congelados y desecados; actúa como disolvente en reacciones químicas, enzimáticas y microbiológicas. La actividad de agua  $a_w$  es una medida de la disponibilidad del agua para participar en tales reacciones (Fernández, 1993).

Debido a que el agua contenida en un alimento se encuentra presente en diferentes formas: libre ó ligada, los métodos que intentan medir el contenido de humedad en una muestra no siempre coinciden, resulta más confiable determinar la actividad de agua (Chirife, 2006).

Es un factor crítico que determina la vida de anaquel. Mientras que la temperatura, pH y algunos otros factores pueden influenciar el que tan rápido crecerán los microorganismos en un producto, la actividad de agua puede ser el factor más importante para controlar su descomposición.

El agua en un alimento ejercerá una presión de vapor. El valor de esta presión dependerá de la cantidad de agua presente, de la temperatura y de la composición del alimento. Los componentes del alimento harán disminuir la presión de vapor del agua con diferentes intensidades, siendo más eficaces las sales y los azúcares que moléculas mayores tales como almidón y proteínas. Por lo tanto, dos alimentos diferentes con contenido en humedad similar pueden no necesariamente tener la misma actividad de agua (Martínez, 1998).

La definición de  $a_w$ , ampliamente utilizada tiene el fundamento en el equilibrio asumido entre el alimento, su entorno gas, por el cual los valores de  $a_w$  deben ser iguales en ambas fases a T y P constantes.

$$a_w = \frac{P_w}{P_w^\circ}$$

Donde  $P_w$  es la presión de vapor del agua en equilibrio con el alimento y  $P_w^\circ$  es la presión de vapor del agua pura a la misma temperatura. La humedad relativa de equilibrio (HRE) se relaciona con la actividad de agua por:

$$HRE(\%) = 100a_w$$

La actividad de agua del alimento es mayor que la del entorno. (Badui, 1999) El intercambio dinámico de moléculas de agua entre el alimento y su entorno resultará en una disminución neta del agua del alimento hasta que el potencial químico o  $a_w$  de los dos se igualen. Cuando la condición de equilibrio termodinámico se alcance, el número de moléculas de agua que entren y salgán del alimento sea el mismo. La  $a_w$  puede medirse directamente determinando la presión parcial de vapor del agua en equilibrio con el alimento.

$$a_w(\text{alimento}) > a_w(\text{aire})$$

La  $a_w$  o el potencial químico del agua no son homogéneos en todo el sistema y por tanto, no tiene sentido caracterizar el sistema como un todo por un valor medido de  $a_w$ . Por lo tanto,  $a_w$  puede no ser un parámetro termodinámico válido para muchos alimentos. (Martínez, 1998)

Para muchos productos, actividad de agua es una propiedad importante. Ésta predice estabilidad con respecto a otras propiedades, velocidades de reacciones de deterioro y crecimiento microbiano. El reconocimiento del crecimiento de la medición de la actividad de agua en alimentos es ilustrado por la U.S. Food and Drug Administration's Incorporation del principio de la actividad de agua en la definición de alimentos

no – potencialmente peligrosos (Alimentos potencialmente peligrosos significan alimentos con un pH mayor que 4.6 y una actividad de agua mayor que 0.85). Ellos utilizan este y otros criterios para determinar si un proceso debe ser seguido por la destrucción térmica de *Clostridium botulinum* (Botulismo).(Sablani, 2005).

Los valores varían entre casi cero para alimentos secos hasta 1.0 para alimentos en los que el agua está fácilmente disponible.

$a_w$	Alimento
0.98 – 1.00	Hortalizas frescas, fruta, carne, pescado, pollo, leche, queso fresco.
0.93 – 0.96	Carnes curadas, la mayoría de los quesos.
0.86 – 0.93	Salami, algunos quesos secos.
0.8 – 0.87	Harina, pasteles, arroz, habas, cereales, leche condensada.
0.72 – 0.88	Alimentos de humedad intermedia, mermeladas, salami curado.
0.6 – 0.66	Frutos secos
0.6	Alimentos deshidratados

**TABLA 6.** Algunos valores típicos de la actividad de agua en alimentos (Lewis, 1993).

La actividad de agua – no contenido de agua – determina los límites más bajos de disponibilidad de agua para el crecimiento microbiano. Además, para influenciar el deterioro microbiano, la actividad de agua puede jugar un rol significativo en la determinación de la actividad de las enzimas y vitaminas en alimentos y puede tener un mayor impacto en su color, sabor y aroma. Esto puede también repercutir significativamente en el impacto de la potencia y consistencia de farmacéuticos.

**1.4.3.2 Factores que la afectan**

La actividad de agua en los alimentos puede ser disminuida por diferentes tipos de interacciones del agua con el sustrato no acuoso: interacciones con los solutos disueltos, formación de puentes de hidrógeno en puntos hidrofílicos del material soluble e insoluble, fuerzas capilares y otras fuerzas de dispersión de largo alcance en disoluciones, suspensiones o geles (Martínez, 1998).

**1.4.3.3 Influencia en otras propiedades del alimento**

El concepto de actividad de agua ha recibido mucha atención fundamentalmente por la influencia de este parámetro en la estabilidad y calidad del alimento. La actividad de agua en alimentos destacó tras su incorporación en las regulaciones de las buenas prácticas de fabricación (BPF) por la FDA (1979) para productos enlatados. En el registro federal se estableció la seguridad de determinados alimentos en términos de su  $a_w$ : “Una  $a_w$  será considerada segura para un alimento si se proporcionan los datos adecuados que demuestren que el alimento a esa  $a_w$  ó por debajo de ella no permite el crecimiento de microorganismos

Se ha demostrado que la  $a_w$  es un factor clave para el crecimiento microbiano, producción de toxinas y resistencia al calor de los microorganismos. En general, el límite inferior de actividad de agua para el crecimiento microbiano es de 0.90 para la mayoría de las bacterias, 0.87 para la mayoría de las levaduras y

0.80 para la mayoría de hongos. Las bacterias halófilas, levaduras osmófilas y hongos serófilos pueden crecer a  $a_w$  superiores de 0.60.

Además de su efecto sobre los microorganismos, la  $a_w$  también juega un papel importante en la estabilidad química y en la calidad de los alimentos. Las cinéticas de reacciones de oxidación de lípidos, pardeamiento no enzimático, degradación de vitaminas y pigmentos y cambios enzimáticos son altamente dependientes del contenido de humedad y  $a_w$  de los sistemas alimenticios (Fernández, 1993).

Las propiedades texturales de los alimentos deshidratados se han relacionado también con la termodinámica de porción del vapor de agua. La textura de los productos con baja humedad cambia drásticamente a un contenido en agua crítico que está muy relacionado con un valor crítico de  $a_w$ , el cual implica un aumento brusco de la movilidad de este componente, asociada a cambios de fase. Para optimizar la calidad y estabilidad durante el almacenamiento de los productos alimentarios, deben controlarse pues cuidadosamente la formulación, condiciones de procesado y almacenamiento (Lewis, 1993).

#### **1.4.3.4 Clasificación de los métodos de medida de la actividad de agua**

Existen una variedad de técnicas o instrumentos para la medida de la  $a_w$  de un alimento, las cuales difieren ampliamente tanto en los fundamentos teóricos en los que se basan como en su complejidad y precio. Una posible clasificación de los métodos existentes para la determinación de la  $a_w$  sería la siguiente:

- Métodos basados en la medida de la presión de vapor y/o de la humedad relativa del aire que está en equilibrio con el alimento.
- Determinación de la presión de vapor de la atmósfera en equilibrio.
- Medida directa de la humedad relativa de la atmósfera en equilibrio.
- Métodos psicrométricos
- Métodos higrométricos
  - i. Higrómetros químicos
  - ii. Higrómetros de condensación o de punto de rocío
  - iii. Higrómetros de adsorción
  - iv. Higrómetros eléctricos
- Medida indirecta de la humedad relativa de la atmósfera en equilibrio
  - i. Papel filtro
  - ii. Prueba de licuefacción de sales
  - iii. Método de tiocianato de cobalto
  - iv. Método de interpolación gráfica
  - v. Métodos isopiésticos
- Métodos basados en la medida de propiedades coligativas: Depresión del punto de congelación o aumento del punto de ebullición.
- A partir de la determinación de su contenido de humedad si se tiene la isoterma del producto.

No existe ningún dispositivo en el cual pueda colocarse un producto directamente para medir la actividad de agua. De cualquier modo, la actividad de agua de un producto puede ser determinada por la humedad relativa del aire que se encuentra rodeando la muestra cuando el aire y la muestra están en equilibrio. Además, la muestra debe estar en un espacio cerrado donde su equilibrio tome lugar. Una vez que esto ocurre, la actividad de agua de la muestra y la humedad relativa del aire son iguales. La medición tomada en el equilibrio es llamada como la humedad relativa en el equilibrio o ERH (Martínez, 1998).

Los instrumentos que se emplean para la determinación de la actividad de agua, miden la cantidad de agua libre presente en la muestra (algunas veces referida como desligada o activa). Una porción del contenido total de agua presente en un producto está fuertemente ligado a sitios específicos de los componentes químicos que conforman el producto. Estos sitios pueden incluir los grupos hidroxilo de los polisacáridos, los grupos carbonilo y amino de proteínas y otros sitios polares (Reid, 2006).

Dos diferentes tipos de instrumentos para determinar la actividad de agua se encuentran comercialmente disponibles. Uno utiliza la tecnología del espejo enfriado al punto de rocío mientras que otros miden la humedad relativa con sensores que cambian la resistencia eléctrica o la capacitancia. Cada uno posee sus ventajas y desventajas. Los métodos varían en precisión, exactitud, repetibilidad, velocidad de medición, estabilidad en calibración, linealidad y conveniencia de uso.

Las mayores ventajas del método del espejo enfriado al punto de rocío son la exactitud, velocidad, facilidad de uso y precisión. El alcance del AquaLab es de 0.030 a 1.000  $a_w$ , con una resolución de  $\pm 0.001a_w$  y una precisión de  $\pm 0.003a_w$ . El tiempo de medición es típicamente menor a cinco minutos. Los sensores de capacitancia tienen la ventaja de no ser costosos, pero no suelen ser tan precisos o tan rápidos como el método del espejo enfriado al punto de rocío. Los instrumentos que miden capacitancia determinan completamente rangos de actividad de agua de 0 a 1.00  $a_w$ , con una resolución de  $\pm 0.005a_w$  y una precisión de  $\pm 0.015a_w$ . Algunos instrumentos comerciales pueden medir en cinco minutos mientras que otros usualmente requieren de 30 a 90 minutos para alcanzar las condiciones de humedad relativa en el equilibrio (Manual de AquaLab).

#### **1.4.3.5 Teoría del espejo enfriado.**

En el AquaLab, una muestra es equilibrada dentro del espacio de cabeza de una cámara sellada contenida en el espejo, un sensor óptico, un ventilador interno, y un sensor de temperatura infrarrojo. En el equilibrio, la humedad relativa del aire en la cámara es el mismo que la actividad de agua de la muestra. Un enfriador termoeléctrico (Peltier) precisamente controla la temperatura del espejo. Un sensor de reflectancia óptica detecta el punto exacto en el cual la primer gota condensada aparece (punto de rocío). Un rayo de luz infrarrojo es dirigido a través del espejo y reflectado nuevamente al fotodetector, el cual detecta el cambio en la reflectancia cuando la condensación ocurre en el espejo. Un termopar adjunto al espejo mide con exactitud la temperatura del punto de rocío (Reid, 2006).



El ventilador interno es utilizado para la circulación del aire, el cual reduce el tiempo para alcanzar el equilibrio con la presión de vapor y controlar la conductancia de la capa límite en la superficie del espejo. Adicionalmente, un sensor termófilo (termómetro infrarrojo) mide la temperatura en la superficie de la muestra. Ambos, la temperatura del punto de rocío y la de la muestra son después usadas para determinar la actividad de agua.

Durante la medición de la actividad de agua, el AquaLab repetidamente determina la temperatura del punto de rocío hasta que se alcanza la presión de vapor en el equilibrio. Desde que la medición es basada en la determinación de la temperatura, la calibración no es necesaria, pero la medición con soluciones estándar permite revisar que el instrumento esté funcionando adecuadamente. Si llegara a existir algún problema, el espejo es fácilmente accesible y puede ser limpiado en pocos minutos (<http://www.decagon.com/aqualab/>).

El modelo utilizado durante la experimentación del xoconostle funciona bajo este principio.



**FIGURA 14.** Aqualab Modelo CX – 2.

#### **1.4.3.6 Teoría del sensor de capacitancia.**

Algunos instrumentos para medir la  $a_w$  usan sensores de capacitancia para determinar la actividad de agua. Tales instrumentos utilizan un sensor elaborado de un polímero higroscópico y un circuito asociado que da la señal relacionada a la Humedad relativa al equilibrio (ERH). El sensor mide la ERH del aire que rodea inmediatamente a la muestra. Esta ERH es igual a la actividad de agua de la muestra siempre y cuando la temperatura de la muestra y el sensor sean las mismas. Desde que estos instrumentos relacionan una señal eléctrica a la humedad relativa, el sensor debe ser calibrado con soluciones de sales estándar conocidas. Algunos sensores de capacitancia necesitan entre 30 y 90 minutos para llegar a la temperatura y presión de vapor del equilibrio. Mediciones precisas con este tipo de sistemas requieren de un buen control de temperatura (Manual de AquaLab).

#### **1.4.4 Conductividad eléctrica**

En general, se ha prestado muy poca atención a la determinación de la conductividad de las frutas y otros vegetales. En la mayor parte de los casos, estas investigaciones se han dirigido hacia intentar establecer una relación entre la propiedad eléctrica y algún factor determinante de la calidad del producto. Las mediciones de resistencia han sido utilizadas para medir el contenido de azúcar, detectar magulladuras, además de medir el contenido en humedad de los materiales (Montoya, 1994 b)).

Las mediciones de conductancia pueden ser utilizadas para determinar el grado de solubilidad de las sales poco solubles, la hidrólisis de las sales, las velocidades de reacción en situaciones donde tienen lugar cambios en la conductividad y el punto final de las reacciones entre electrolitos. Se ha sugerido que las mediciones de conductividad podrían ser útiles para controlar los procesos en los que tienen lugar cambios en este parámetro (Montoya, 1994 a)).

#### **1.4.4.1 Definición**

Conductividad es la medida de la capacidad que tiene un material para conducir la corriente eléctrica.

Las soluciones salinas contienen partículas iónicas que llevan cargas y por lo tanto poseen esta habilidad. Cuanto mayor es la cantidad de estos iones disueltos en el agua la conductividad de la solución resultante es mayor.

Se define como el inverso de la resistencia eléctrica que se observa en la solución, al circular corriente en condiciones reguladas. Si bien las unidades bien podrían ser  $W^{-1}$  (ohms inversos), por razones históricas, se definió la unidad Siemens, abreviado "S". Es preciso identificar la longitud a través de la que se mide la conductividad, de modo que la unidad habitual de conductividad de soluciones resulta ser m S/cm y la especie se cita como conductividad (Lewis, 1993).

#### **1.4.4.2 Diferentes formas de expresar la conductividad eléctrica**

La conocida Ley de Ohm expresa que cuando se mantiene una diferencia de potencial entre dos puntos de un conductor se produce por él una circulación de corriente eléctrica que es directamente proporcional al voltaje aplicado e inversamente proporcional a la resistencia de tal conductor. Por tanto:

$$I = E/R$$

**Donde:**

**I = Intensidad de la corriente (Amperes)**

**E = Diferencia de potencial (Voltios)**

**R = Resistencia (Ohms)**

El agua muy pura no conduce la corriente eléctrica. No obstante, cuando el agua contiene un electrolito disuelto en ella se convierte en un conductor donde la resistencia es proporcional a la distancia entre electrodos e inversamente proporcional al área de estos. Así:

$$R=r.L/A$$

**Donde:**

**R = Resistividad específica (Ohms/cm)**

**L = Distancia entre electrodos (cm)**

**A = Área de estos (cm<sup>2</sup>)**

La inversa de la resistividad específica es la conductividad específica (k). Esto es:

$$k=1/r$$

y por lo tanto su unidad de medición queda definida como  $\text{Ohm}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$

Cuando se mide la conductividad eléctrica de una solución nutritiva se está determinando la conductividad específica de dicha disolución (Montoya, 1994) a).

Las equivalencias entre unidades y las formas en que mas frecuentemente son expresadas son las siguientes:

	Unidad de conductividad	Submúltiplo (1 / 1000)	Submúltiplo ( 1 / 1000000)
Principal	1 S / cm	0.001 S / cm	0.000001 S / cm
Otras formas utilizadas para nombrar las unidades		1 mS / cm	1 $\mu$ S / cm
			0.001 mS / cm
	1 S . cm <sup>-1</sup>		
	1 mho / cm	1 mmho / cm	1 $\mu$ mho / cm
	1 mmho . cm <sup>-1</sup>		
		1000 $\mu$ S / cm	
		1000 $\mu$ mho / cm	0.001 mmho / cm
		1 dS / m	0.001 dS/m
		1 CE	

TABLA 7. Unidades utilizadas para expresar conductividad eléctrica (Garza, 2006).

#### 1.4.4.3 Medición de la Conductividad Eléctrica

A pesar de ser un parámetro muy general (pues la conductividad de una solución depende de todas las especies iónicas en solución) resulta útil porque refleja la salinidad total de una solución de proceso, además de que se ha relacionado con la permeabilidad de la membrana durante la maduración de los frutos o con los desórdenes fisiológicos desarrollados durante el almacenamiento de frutas a bajas temperaturas.

Por lo tanto la medición de la conductividad eléctrica de una solución nutritiva tiene una relación directa con la cantidad de materiales sólidos disociados que hay disueltos en ella.

La localización de un electrodo de conductividad en el proceso es crítica, porque la distribución de sales disueltas en un volumen líquido puede cambiar si el mezclado se aleja de la idealidad (Montoya, 1994 c)).

FRUTAS Y VEGETALES	Conductividad eléctrica $\mu\text{S/m}$			
	Baja	Media Baja	Media alta	Alta
<b>VEGETALES DE HUERTA</b>				
Ajos		1400 – 1800		
Apio			1800 – 2400	
Arvejas	800	1800		
Brócoli				2800 – 3500
Cebollas		1400 – 1800		
Espárragos		1400 – 1800		
Espinacas			1800 – 2300	
Lechugas	800 – 1200			
Papas				2000 – 2500
Pepinos			1700 – 2800	
Tomates				2000 – 2500
Zanahorias			1600 – 2000	
<b>FRUTAS</b>				
Ananá				2000 – 2400
Banana			1800 – 2200	
Frutillas			1800 – 2200	
Grosella		1400 – 1800		
Melón				2000 – 2500
Sandía			1500 – 2400	

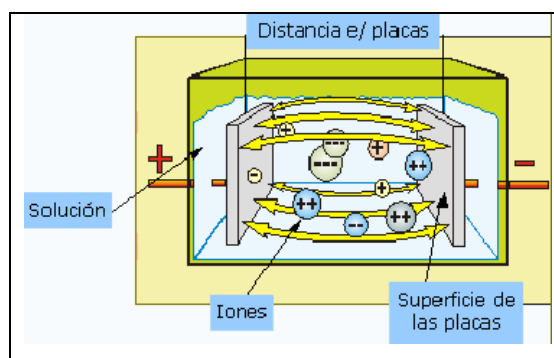
**TABLA 8.** Valores reportados para conductividad eléctrica de frutos y vegetales (Romero, 2005).

#### 1.4.4.4 Instrumentos de medición

Los conductímetros son los aparatos utilizados para medir la conductividad. Básicamente los conductímetros son instrumentos compuestos por dos placas de un material especial (platino, titanio, níquel recubierto con oro, grafito, etc.), una fuente alimentadora y un sector o escala de medición ([http://cipres.cec.uchile.cl/~iq54a/apuntes/instrumentos/08\\_conductor/conductor.html](http://cipres.cec.uchile.cl/~iq54a/apuntes/instrumentos/08_conductor/conductor.html)).

Al aplicar una diferencia de potencial entre las placas del conductímetro, éste mide la cantidad de corriente que como consecuencia pasa por ellas.

Con los valores del voltaje aplicado y con la intensidad eléctrica de la corriente que pasa por las placas, los conductímetros determinan, de acuerdo a su previa calibración, la conductividad de la muestra ensayada.



**FIGURA 15.** Conductímetro de placas (Romero, 2005).

Hay muchos tipos de conductímetros y los valores de la conductividad son dependientes de la geometría de la celda de cada aparato. Es por ello que cada uno realmente mide una conductividad específica

la cual es el producto de la conductividad realmente medida multiplicada por la constante de la celda del mismo. Esta constante es la relación que hay entre la distancia a la cual se encuentran sus placas y la superficie de las mismas (Romero, 2005).

La medición de la conductividad también es dependiente de la temperatura de la muestra durante el ensayo. Es por ello que la mayoría de estos conductímetros tienen compensadores automáticos de temperatura. En la figura se observa el conductímetro empleado en este trabajo.



**FIGURA 16.** Conductímetro.

### **1.4.5 Intensidad respiratoria**

#### **1.4.5.1 Definición**

La madurez comercial puede relacionarse con el incremento de la actividad respiratoria en los frutos climatéricos. En la práctica es necesario correlacionar el punto apropiado de la gráfica que representa la actividad respiratoria a lo largo del ciclo vital con alguna característica que pueda ser fácilmente apreciada en el campo. Para indicar el grado de madurez fisiológica en el momento correcto de proceder a la recolección, se ha elaborado el concepto de “vida verde”, que es también una expresión útil de la vida potencial tras la recolección. Por vida verde se entiende el periodo que media entre la recolección y el comienzo de la maduración organoléptica. (Pantástico, 1987).

La velocidad a que transcurre la respiración de un producto constituye un índice de la actividad metabólica de sus tejidos y una guía útil de su vida comercial. Si se sigue la actividad respiratoria de una fruta u hortaliza - a través del consumo de oxígeno o el desprendimiento de dióxido de carbono por unidad de tiempo – a lo largo de su desarrollo la maduración fisiológica y organoléptica y la senescencia se obtendrá una pauta respiratoria característica. La actividad respiratoria es más alta en las fases previas a la maduración y declina luego con la edad. A este incremento de la actividad respiratoria se le adjetiva climatérico y al grupo de frutos que lo ofrecen se les clasifica como frutos climatéricos. La intensidad y duración de la respiración climatérica varía ampliamente con las diversas especies. Su comienzo coincide aproximadamente con el momento en que la fruta alcanza su tamaño máximo y es durante su período de persistencia cuando tiene lugar el resto de las modificaciones características de la maduración organoléptica tanto la respiración climatérica como la maduración organoléptica pueden tener lugar lo mismo con fruto todavía adherido a la planta de procedencia o tras su recolección. Los frutos no climatéricos manifiestan la mayor parte de las transformaciones características de la maduración organoléptica pero éstas transcurren a un ritmo más lento. Todas las hortalizas ofrecen una pauta respiratoria no climatérica (Wills, 1989).

### **1.4.5.2 Medición de la respiración**

La cuantía de la respiración puede medirse determinando las pérdidas que experimenta el sustrato, la cantidad de oxígeno admitida, la de dióxido de carbono expelida, de calor producido y de energía desarrollada.

La oxidación biológica va seguida por una elevación de la temperatura y ésta puede ser una indicación de la tasa respiratoria, pero no existe una relación estequiométrica entre ellas (Flores, 2000).

#### **1.4.5.2.1 Cociente respiratorio**

Con las mediciones de  $\text{CO}_2$  y  $\text{O}_2$  es posible evaluar la naturaleza del proceso respiratorio. La proporción de  $\text{CO}_2$  a  $\text{O}_2$  es denominada cociente de respiración (CR). Este es útil para deducir la naturaleza del sustrato usado en la respiración, lo completo de la reacción respiratoria y el grado en que el proceso es anaeróbico o aeróbico. Sin embargo, este proceso puede ser complejo debido a que en un periodo de tiempo dado, pueden respirarse sustancias de diferentes tipos. En consecuencia el CR es sólo un valor promedio que depende de la contribución a la respiración hecha por cada sustrato y su contenido relativo de carbono,  $\text{H}_2$  y  $\text{O}_2$  (Planella, 1987).

Por lo general, si el CR es igual a 1, se están metabolizando azúcares. Un valor del CR mayor a 1 indica que se tiene un sustrato oxigenado, esto es, que se están empleando en la respiración ácidos orgánicos, que en comparación con el azúcar requieren menos oxígeno para la evolución de una cantidad comparable de  $\text{CO}_2$ , si el CR es menor a 1, hay varias posibilidades: a) que el sustrato tiene una proporción de oxígeno a carbono menor que la de la hexosa; b) que la oxidación no es completa, deteniéndose, por ejemplo a nivel de ácidos succínicos o de otros productos intermedios; c) que el  $\text{CO}_2$  formado se utilice en otros procesos de síntesis, por ejemplo en la formación de ácido oxaloacético y málico a partir de piruvato y  $\text{CO}_2$  (Wills, 1989).

El cociente puede verse afectado por causas químicas y físicas, en especial por las diferencias de los coeficientes de solubilidad y difusión de los gases, que son de importancia en los casos en que las tasas de respiración cambian con rapidez. En consecuencia, el CR debe determinarse cuando la respiración ha adquirido una tasa uniforme (Pantástico, 1987).

#### **1.4.5.2.2 Relación entre la tasa de respiración y vida de almacenamiento**

La tasa de respiración es un buen índice de la longevidad del fruto después de cosechado. La intensidad respiratoria es considerada como una medida de la tasa en que se está realizando el metabolismo y como tal, con frecuencia se le considera como una indicación de la vida potencial de almacenamiento del fruto. De ordinario, una tasa elevada de respiración va asociada con una corta vida en almacenamiento. También es indicadora de la tasa a la cual el fruto se está deteriorando en calidad y valor alimenticio. Además, siendo la respiración un proceso bastante complejo que es afectado por diversos factores, el estudio de los que la afectan es de gran significación desde el punto de vista del manejo y almacenamiento.

En el almacenamiento de frutas y verduras frescas es necesario, con frecuencia conocer – y medir por tanto – las concentraciones de dióxido de carbono, oxígeno etileno en la atmósfera. La determinación de estos gases se puede efectuar tanto por procedimientos físicos como por métodos químicos. Generalmente se prefieren los primeros en virtud de su mayor rapidez, sensibilidad y precisión. El método elegido depende de la cantidad de muestra disponible, del grado de precisión requerido y de si lo que se necesita es o no un control permanente de la concentración del gas. A continuación se describen algunas técnicas de análisis de gases frecuentemente utilizadas (Kuvilav, 2006).

### **1.4.5.3 Métodos de medición**

#### **a) Analizador de gases de Orsat**

El analizador de gases de Orsat se utiliza para determinar las concentraciones de gas dióxido de carbono y oxígeno en muestras de gran tamaño, como las constituidas por los almacenes de atmósfera controlada. El analizador consta de una bureta calibrada que está conectada por medio de un distribuidor de vidrio a dos tubos de absorción; el primero contiene hidróxido potásico para absorber el dióxido de carbono y el segundo una disolución alcalina de pirogalol para absorber el oxígeno. Las concentraciones de dióxido de carbono y de oxígeno se deducen de la reducción de volumen del aire, medida en la bureta, que acarrea la absorción de uno y otro. Su precisión es del 0.1% (Sean, 2002).

#### **b) Cromatografía gaseosa con detector de conductividad térmica**

Es de extrema utilidad en el caso de que se disponga sólo de una muestra de tamaño muy reducido, de 0.2 a 5 mililitros. Ofrece particular interés en el caso de que se desee conocer la concentración de dióxido de carbono u oxígeno, en pequeños recipientes, por ejemplo en sacos de plástico, en los que tomar muestras del tamaño de la que se requiere para utilizar el analizador de Orsat supondría un cambio drástico en la composición de la atmósfera del mismo.

En esta técnica la muestra gaseosa se fracciona, generalmente sobre una columna de gel sílice, seguida de otra de tamizado molecular, en los diversos componentes, oxígeno, dióxido de carbono y nitrógeno, midiéndose la concentración de cada uno de ellos a la salida de las columnas, basándose en la respuesta del detector a las variaciones de la conductividad térmica de cada uno de los gases que pasan por el detector (Hobson, 1993).

#### **c) Colorimetría**

El método colorimétrico de Claypoll y Keefer resulta ideal para determinar concentraciones de dióxido de carbono de alrededor del 1%. En general, es conveniente limitar la concentración de dióxido de carbono en los almacenes a no más del 0.5% para evitar los efectos que sobre el producto general las atmósferas modificadas. El método colorimétrico de determinación de este gas se basa en el establecimiento de un flujo conocido y constante de aire sobre la muestra y un equilibrio entre el dióxido de carbono del aire y una disolución de bicarbonato. El pH de la disolución desciende a medida que la concentración de dióxido de carbono aumenta; el cambio del pH puede medirse colorimétricamente utilizando azul de bromotimol. El método colorimétrico original ha sido adaptado por Pratt y Mendoza para su utilización con espectrofotómetros (Flores, 2000).

**d) Analizador de infrarrojos**

Este instrumento mide el contenido en dióxido de carbono del aire en movimiento y es especialmente idóneo para su incorporación a sistemas automáticos. El dióxido de carbono absorbe los rayos infrarrojos de determinada longitud de onda, propiedad que es utilizada en el analizador para generar una señal eléctrica que está relacionada con la concentración del mencionado producto en la corriente gaseosa (Bedolla, 2003).

**e) Analizadores paramagnéticos**

Estos aparatos miden la concentración de oxígeno en una corriente de aire. Los analizadores paramagnéticos o magnéticos sólo son susceptibles al oxígeno o los óxidos de nitrógeno, dado que esos son los únicos gases paramagnéticos, es decir, atraídos por un campo eléctrico. Los analizadores paramagnéticos pueden medir diferencias en la concentración de oxígeno del orden de 0.02% (Wills, 1989).

**f) Por cromatografía de gases con detección por ionización de llama**

La cromatografía gaseosa con ionización de llama constituye la técnica más sensible para la determinación de la concentración de etileno y otros hidrocarburos de hasta 5 átomos de carbono. El etileno es separado de la mezcla gaseosa en una columna alúmina, emerge de la misma, mezclado con hidrógeno, se quema y los iones liberados en la llama generan una señal que es proporcional a la cantidad de etileno presente en la muestra.

Los instrumentos de este tipo son de muy variado grado de sofisticación; para estos fines es perfectamente idóneo un cromatógrafo provisto de una sola columna y un solo detector. Los instrumentos más complejos de uso en la investigación más que en las determinaciones rutinarias, pueden medir incluso 0.001 microlitro de etileno en muestras constituidas por 5 mililitros de aire (Wills, 1989).

**g) Dispositivo de Pettenkoffer**

Se basa en el establecimiento de un flujo conocido y constante de aire sobre la muestra a través de una bomba de vacío, utilizando una solución de hidróxido de bario con indicador (fenolftaleína); que permite la captación de  $\text{CO}_2$  desprendido durante un periodo de tiempo conocido (generalmente 1 h); provocando la decoloración de la misma debido al incremento de la concentración del gas, transcurrido ese tiempo se titula la solución con HCl, se realiza el cálculo necesario para de esta manera conocer el índice respiratorio de un fruto expresado en  $\text{mg de CO}_2/\text{kg de fruto h}$  (citado en Sandoval, 2003).



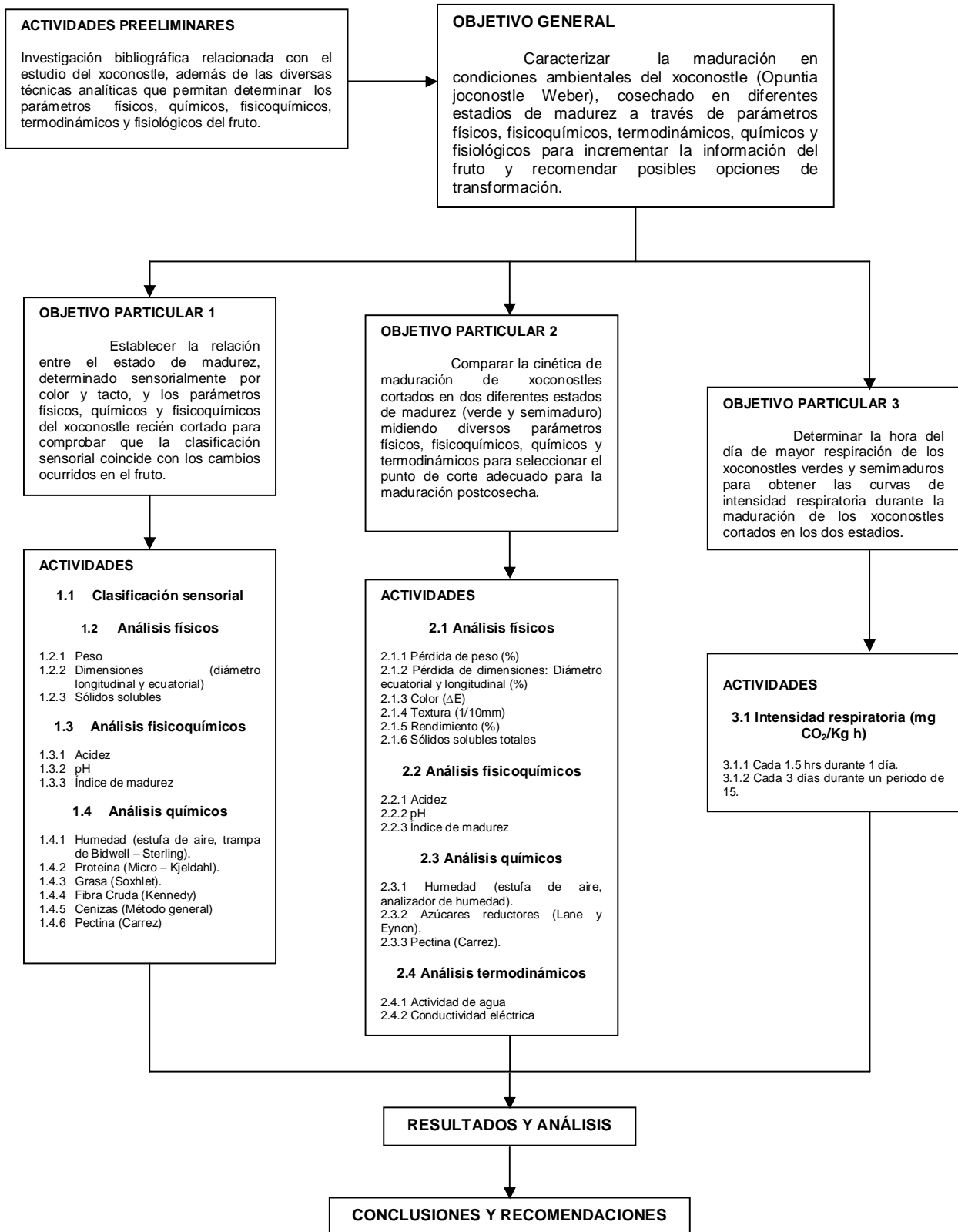
**FIGURA 17.** Dispositivo de Pettenkoffer



# **CAPÍTULO II**

# **METODOLOGÍA**

CUADRO METODOLÓGICO



---

**METODOLOGÍA**

**2.1 Xoconostles.** Se utilizaron frutos de xoconostle cortados el mismo día en el que se iniciaron las mediciones. Los frutos se compraron en la plaza de Tlahuelliapan en el estado de Hidalgo de las cosechas de enero a marzo de 2006.

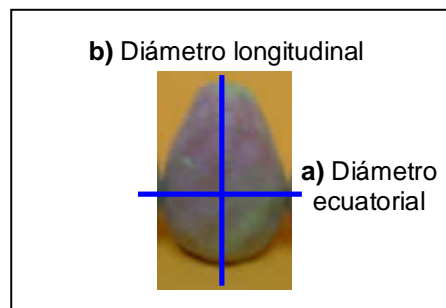
**2.2 OBJETIVO PARTICULAR 1.****ACTIVIDAD 1.1**

**Clasificación de xoconostles de acuerdo a su estado de madurez.** 50 piezas fueron clasificadas en 3 diferentes estados de madurez de acuerdo al color y la resistencia al tacto del fruto. Se consideró el color rosáceo para el xoconostle maduro, entre amarillo y rosa tenue para el xoconostle semimaduro y verde en la mayor parte del pericarpio para el xoconostle verde. Con respecto a la resistencia al tacto que oponían los frutos se consideró nula o casi nula para el xoconostle maduro, ligera para el xoconostle semimaduro y considerable para el xoconostle verde.

**ACTIVIDAD 1.2**

**Peso.** Cada xoconostle se pesó en una balanza granataria con precisión de 0.1 g.

**Dimensiones.** Se utilizó un calibrador Vernier para medir los diámetros longitudinal y ecuatorial de cada xoconostle (ver figura 18).



**FIGURA 18.** Medición del diámetro ecuatorial y longitudinal del xoconostle.

**Homogeneización de la pulpa.** Se separó el fruto en pulpa, semilla y cáscara. La pulpa fue molida, en un procesador de alimentos marca MOULINEX; hasta obtener una consistencia similar a la de un puré y al producto final se le realizaron diversos análisis físicos y fisicoquímicos para conocer las características del fruto recién cortado.

**Sólidos solubles totales (SST):** Se midieron con un refractómetro de laboratorio tipo Abbe, expresando los resultados como °Brix. Técnica 932.12 del A.O.A.C. (2000).

### ACTIVIDAD 1.3

**pH:** Se determinó en pulpa molida de xoconostle, la medición se realizó de forma directa con un potenciómetro de laboratorio. Técnica 981.12 del A.O.A.C. (2000).

**Acidez:** Se utilizó el método volumétrico oficial 942.15 del A.O.A.C. (2000). La acidez se expresó en función a su contenido de ácido cítrico.

**Índice de madurez:** Éste parámetro fue calculado a partir de la relación obtenida entre una propiedad física (sólidos solubles) y una fisicoquímica (acidez). (Barret, 2005).

### ACTIVIDAD 1.4

**Humedad:** Se utilizaron los métodos de estufa de aire 934.01 del A.O.A.C.(2000), trampa de Bidwell – Sterling 2.2 E del (Pearson, 1998). El resultado se expresó como % en peso de humedad.

**Azúcares reductores:** Se empleó el método volumétrico de Lane y Eynon según el método de la norma NOM – 086 – SSA1 – 1994. El resultado se expresó como % en peso de azúcares reductores directos y totales.

**Proteína:** Mediante el método de micro - Kjeldahl según la técnica 960.52 del A.O.A.C.(2000). El resultado se expresó como % en peso de proteína.

**Grasa:** Se aplicó el método de Soxhlet 963.15 del A.O.A.C.(2000). El resultado se expresó como % en peso de grasa.

**Fibra cruda:** Se utilizó el método de Kennedy 962.09 E del A.O.A.C.(2000). El resultado se expresó como % en peso de fibra cruda.

**Cenizas:** Se cuantificaron mediante el método general 940.26 del A.O.A.C.(2000). El resultado se expresó como % en peso de cenizas.

**Pectina:** Se aplicó el método de Carrez citado en Lees (1982). El resultado está expresado como % en peso de pectato de calcio.

### 2.3 OBJETIVO PARTICULAR 2.

A partir del día de la compra los xoconostles utilizados para cubrir éste objetivo, se conservaron a temperatura ambiente (22 a 25 °C) y humedades relativas de (55 – 60%). El estudio de cinéticas se realizó durante 15 días. La primer medición fue realizada el día que se adquirieron los frutos (día cero).

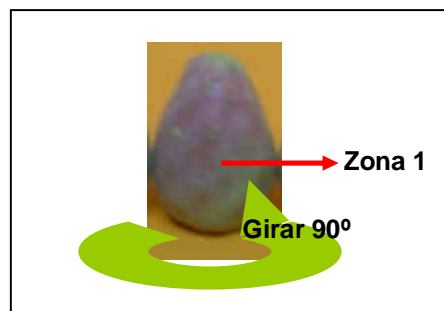
Para determinar las cinéticas de pérdida de pesos, dimensiones y color se utilizaron 10 xoconostles verdes y 10 xoconostles semimaduros numerados en la parte inferior.

Para las cinéticas de textura se emplearon 60 xoconostles en estado verde y 120 en semimaduro. Para las cinéticas de sólidos solubles, pH, acidez, índice de madurez, se utilizaron 60 xoconostles verdes y 60 semimaduros. Cada 3 días, se seleccionaron al azar 10 xoconostles de cada grupo (excepto en textura que se seleccionaron 20 en estado semimaduro). A cada xoconostle se le midió la textura y se le extrajo la pulpa. Se separaron la cáscara, pulpa y semillas para obtener el rendimiento y se preparó un homogeneizado de la misma manera que en el objetivo 1 con las pulpas de cada grupo. En el homogeneizado se determinó el pH, acidez y

sólidos solubles, el resto de la pulpa se conservó en congelación (-20 °C) hasta el momento en el que se realizaron las pruebas de humedad, azúcares reductores, pectina, actividad de agua y conductividad eléctrica.

### ACTIVIDAD 2.1

**Color.** Se utilizó un colorímetro Minolta CR – 300 (ver anexo 4). La determinación de color se midió en la cáscara del xoconostle. Ya que el color del fruto no es homogéneo en toda la cáscara, la medición del color se llevó a cabo en cuatro zonas diferentes, tomando como base la marca de identificación y girando en cuatro ocasiones cada xoconostle 90°, con el fin de observar los cambios de color ocurridos en el mismo punto (ver figura 19)



**FIGURA 19.** Zonas de medición de color en el xoconostle.

Las mediciones se realizaron directamente sobre la cáscara del fruto, obteniendo el resultado en forma directa de la escala CIE con los valores L, a, b, que corresponden a la luminosidad, croma y tono respectivamente.

Como parámetro de análisis se calculó delta E en el cual se integran tanto la luminosidad (L) como la cromaticidad (a y b), éste parámetro indica el rango de diferencia de color, pero no hacia donde varía el color y se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$\Delta E = (\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2)^{1/2}$$

donde:

$\Delta E$  = Diferencia total de color

L= Luminosidad

a= Croma

b= Tono

**Dureza.** Se determinó con una prueba de penetrabilidad aplicada en el fruto entero mediante un Penetrómetro Norridge 60655 marca Humboldt MFG con punzón (Ver anexo 4). La prueba fue realizada en dos puntos diferentes, el primero ubicado en la zona más carnosa del xoconostle y el segundo en la parte inferior del fruto (área de corte) con el fin de observar su comportamiento en ambos casos.

Cada xoconostle fue colocado sobre el instrumento en forma horizontal en el primer punto y vertical en el segundo como se observa en la figura, se determinó la distancia penetrada por la varilla de acero inoxidable a través del xoconostle, la cual fue reportada en 1/10 mm que es la precisión que posee el equipo empleado.

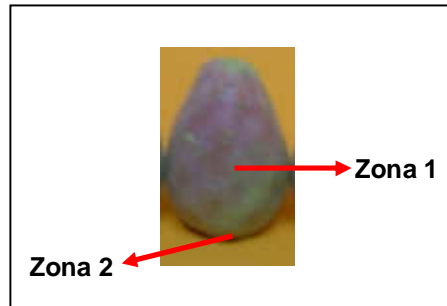


FIGURA 20. Zonas de medición de textura en el xoconostle.

**Rendimiento.** Se pesaron con una balanza granataria las partes del xoconostle: cáscara, pulpa y semillas; calculando el porcentaje de rendimiento de cada uno tomando como base el peso de cada lote de los xoconostles enteros (NMX – FF – 007 – 1982).

#### ACTIVIDAD 2.2 Y 2.3

El peso, dimensiones en base a los diámetros longitudinal y ecuatorial, sólidos solubles, acidez, pH, índice de madurez, azúcares reductores y pectina se midieron con las técnicas descritas en la sección II.2.

**Humedad.** Se utilizaron los métodos de estufa de aire 934.01 del A.O.A.C.(2000) y el analizador de humedad halógeno MB – 45 marca OHAUS. El resultado se expresó como % en peso de humedad.

#### ACTIVIDAD 2.4

**Actividad de agua.** Se midió con el método de referencia empleando un analizador de actividad de agua modelo CX – 2 marca AquaLab. El resultado obtenido es adimensional.

**Conductividad eléctrica.** Se utilizó un conductímetro marca HANNA modelo HI – 8633. El resultado se expresó en mS/m.

#### 2.4 OBJETIVO PARTICULAR 3.

Se utilizaron 4 xoconostles verdes y 4 semimaduros.

#### ACTIVIDAD 3.1

**Intensidad respiratoria.** Se empleó el dispositivo de Pettenkoffer (anexo 4). Para determinar la hora del día de máxima respiración, en el día inicial se realizaron mediciones cada 1.5 hrs. La primera medición fue a las 10 de la mañana y la última a las 16 hrs. Posteriormente se realizaron mediciones cada 3 días por un periodo de 15 a la hora de máxima respiración.

La intensidad respiratoria se calculó de la siguiente manera:

$$IR = (T_b - T_m) * 2.2 * / p * t = \text{mg CO}_2 / \text{Kg h}$$

donde:

**IR** = Intensidad respiratoria

**T<sub>b</sub>** = ml de HCl 0.1 N gastados en el blanco

**T<sub>m</sub>** = ml de HCl 0.1 N gastados en la muestra

**2.2** = mg de CO<sub>2</sub> / ml de HCl 0.1 N

**p** = peso del fruto en Kg

**t** = tiempo en horas

**NOTA. Las técnicas analíticas previamente citadas así como los cálculos de las mismas se encuentran descritos ampliamente en el anexo 4.**

### **2.5 Análisis estadístico.**

Los resultados obtenidos en el objetivo 1 fueron sometidos a análisis de varianza (ANOVA); mientras que a los datos de los objetivos 2 y 3 se les realizó un análisis de regresión simple obteniendo sus respectivos gráficos así como modelos matemáticos.

# **CAPÍTULO III**

## **RESULTADOS Y ANÁLISIS**



**OBJETIVO PARTICULAR 1.**

**Actividad 1.2. ANÁLISIS FÍSICOS.**

**PESO Y DIMENSIONES.** El promedio del peso, diámetro ecuatorial y longitudinal se muestran en la tabla 9. El análisis estadístico indicó que no existen diferencias significativas entre el peso y dimensiones expresadas en función de los diámetros ecuatorial y longitudinal con respecto al estadio de madurez ( $p = 0.38$ ;  $p = 0.35$ ;  $p = 0.39$  respectivamente). Lo anterior indicó que al parecer tanto el peso como el tamaño del fruto son independientes del estado de madurez, sin embargo, puede ser que el tamaño de la muestra no es suficientemente grande para establecer ésta relación.

CARACTERÍSTICA	XOCONOSTLE VERDE	XOCONOSTLE SEMIMADURO	XOCONOSTLE MADURO	
<b>PESO</b> Promedio (Error estándar)	58.42 (4.77)	59.56 (1.80)	63.31 (2.25)	
<b>DIÁMETRO ECUATORIAL</b> Promedio (Error estándar)	4.28 (0.14)	4.44 (0.05)	4.49 (0.06)	
<b>DIÁMETRO LONGITUDINAL</b> Promedio (Error estándar)	6.03 (0.24)	5.80 (0.09)	5.68 (0.11)	<b>TOTAL DE MUESTRA</b>
<b>Nº DE PIEZAS</b>	4	28	18	50

**TABLA 9.** Promedio (error estándar) y tamaño de muestra de la relación entre las características físicas del xoconostle.

Del total de la muestra el 8% estuvo compuesto por xoconostles en estado verde, el 36% en maduro y el 56% semimaduro; ésto refleja el hecho de que la mayor parte de xoconostles cosechados en los meses de enero a marzo son semimaduros, y en este estadio el fruto no alcanzó valores típicos de un fruto maduro en cuanto a las características de color, pH, acidez, peso, sólidos solubles, y composición química (Granados, 1996).

**Actividad 1.3. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS.**

**pH, ACIDEZ, SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES (SST) E ÍNDICE DE MADUREZ (IM).** La tabla 10 muestra el promedio de los resultados obtenidos de dos propiedades fisicoquímicas (pH y acidez) y una física (sólidos solubles), medidos por triplicado en la pulpa de los xoconostles. Se corroboró el hecho de que entre más maduro sea cortado el fruto, mayor es su contenido de sólidos solubles, mayor el valor de pH y menor acidez expresada como ácido cítrico ( $p < 0.01$ ) y consecuentemente presenta un mayor índice de madurez calculado como la relación entre sólidos solubles y porcentaje de acidez.

Quintín (1983) reportó valores de pH de 4 – 6 y los resultados encontrados en este estudio estuvieron por debajo de estos valores, cabe mencionar que en la fuente no se especifican las características de la muestra lo cual pudo repercutir en las diferencias de los resultados. En cuanto al contenido de sólidos éste mismo autor señala un intervalo de 4.5 – 6, en este caso, el xoconostle semimaduro y maduro presentaron

valores que caen dentro del rango establecido por el autor. Respecto al porcentaje de acidez e índice de madurez no se encontraron fuentes bibliográficas con las cuales se pudiera comparar la información obtenida aquí.

El índice de madurez fue mayor en xoconostle maduro que en semimaduro y en el fruto verde se reportaron los valores más bajos, esto se atribuye al hecho de que conforme el fruto va madurando los niveles de sólidos solubles se incrementan mientras que el contenido de acidez disminuye.

<b>PROPIEDADES FÍSICAS Y FÍSICOQUÍMICAS</b>	<b>XOCONOSTLE VERDE</b>	<b>XOCONOSTLE SEMIMADURO</b>	<b>XOCONOSTLE MADURO</b>
<b>pH</b> Promedio (Error estándar)	<b>3.22</b> (0.03)	<b>3.53</b> (0.03)	<b>3.75</b> (0.03)
<b>Acidez (%)</b> Promedio (Error estándar)	<b>2.34</b> (0.04)	<b>1.68</b> (0.04)	<b>1.19</b> (0.04)
<b>Sólidos solubles (°Brix)</b> Promedio (Error estándar)	<b>3.40</b> (0.06)	<b>4.80</b> (0.06)	<b>5.17</b> (0.06)
<b>Índice de madurez (IM)</b> Promedio (Error estándar)	<b>1.45</b> (0.09)	<b>2.86</b> (0.09)	<b>4.33</b> (0.09)

**TABLA 10.** Promedio (error estándar) de las propiedades físicas y fisicoquímicas del xoconostle cosechado en tres diferentes estadios de madurez.

La determinación de pH, acidez, SST e índice de madurez permitieron confirmar que el estado de madurez de los frutos seleccionado a partir de la clasificación sensorial fue el adecuado.

**Actividad 1.4. ANÁLISIS QUÍMICOS.**

La composición aproximada del xoconostle se determinó en función de: Humedad, proteína, grasa, azúcares reductores, fibra bruta, cenizas y finalmente pectina, este último contribuye a la estructura del fruto (Roe, 1981; Astiasarán, 2003; Barret, 2005).

Los resultados obtenidos en éste trabajo fueron comparados con los reportados por Granados (1996), Fachmann (2000), Quintín (1983) y la FAO (2005). Ésta comparación se muestra en los gráficos 1 y 2.

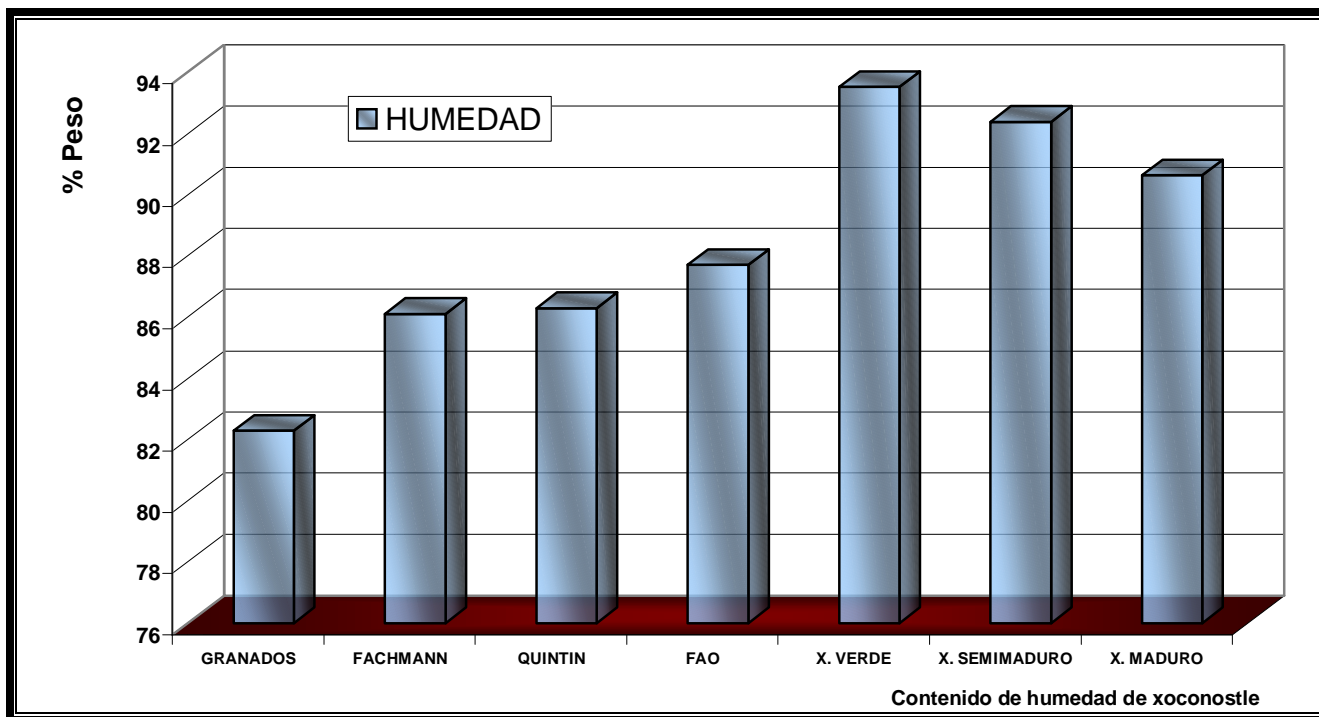


GRÁFICO 1. Comparación de humedad (% peso).

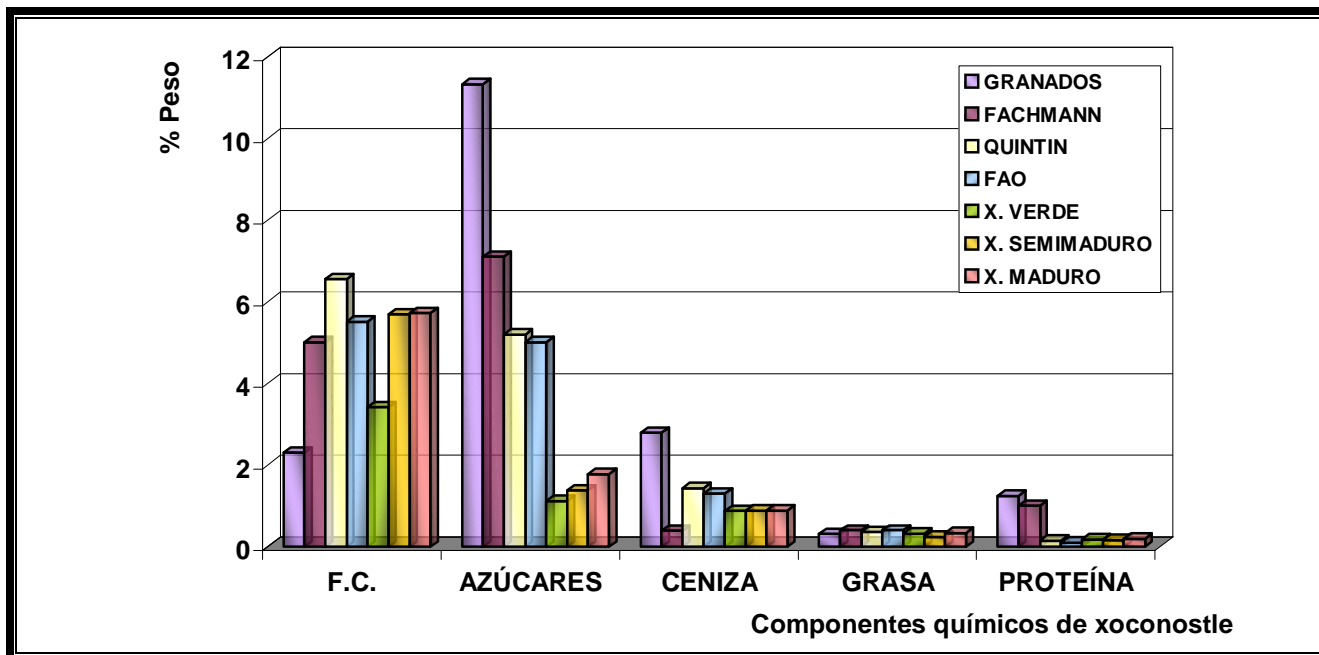


GRÁFICO 2. Comparación de materia seca (% peso).

Como puede observarse, las composiciones reportadas difieren con las obtenidas en este estudio. Sin embargo, no se puede determinar específicamente la causa de estas diferencias porque los autores consultados no señalan el lugar donde se adquirió la muestra, la época del año, condiciones edafológicas, el estadio de madurez, tampoco señala el tamaño de muestra ni desviación estándar; y estos factores influyen en la composición de los frutos (Delgado, 1985; Granados, 1998; El kossori, 1998 y García, 2005), es por ello que los valores citados difieren entre sí y no resultan muy confiables aunado al hecho de que el xoconostle es un fruto que ha sido poco estudiado.

En los tres estadios de madurez se obtuvo el siguiente orden de predominancia de los componentes: humedad, posteriormente fibra cruda, azúcares, cenizas, grasa y finalmente proteína.

El xoconostle verde posee mayor cantidad de agua que los frutos cosechados en los otros dos puntos, además se observan variaciones significativas ( $p < 0.01$ ) en el contenido de azúcares con respecto al fruto semimaduro y maduro.

Con respecto al contenido de cenizas, fibra cruda, proteína y grasa, a pesar de que estadísticamente se encontraron variaciones significativas ( $p < 0.01$ ), no se modificaron más de 0.5% por lo cual se consideró que estas variaciones son muy pequeñas y estos componentes no son indicadores de la madurez del fruto.

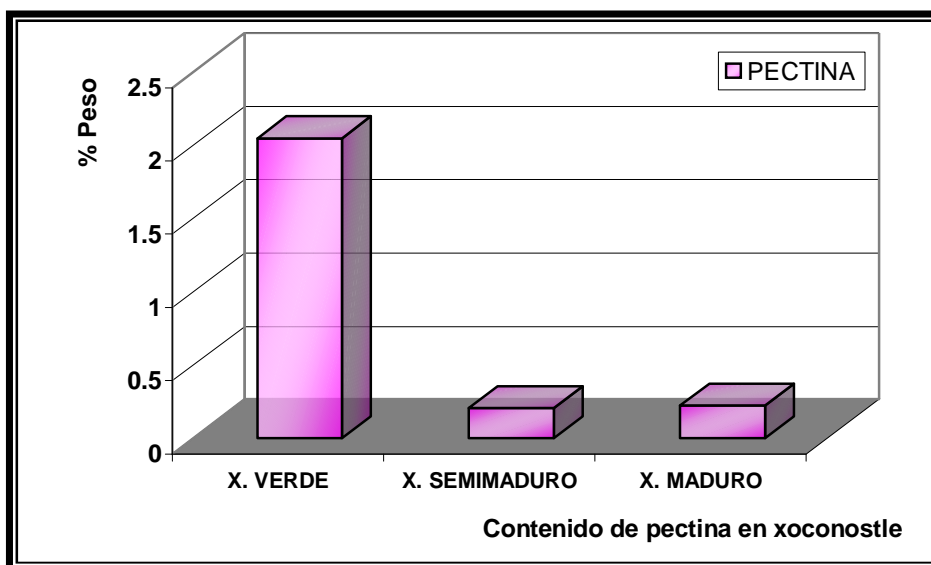


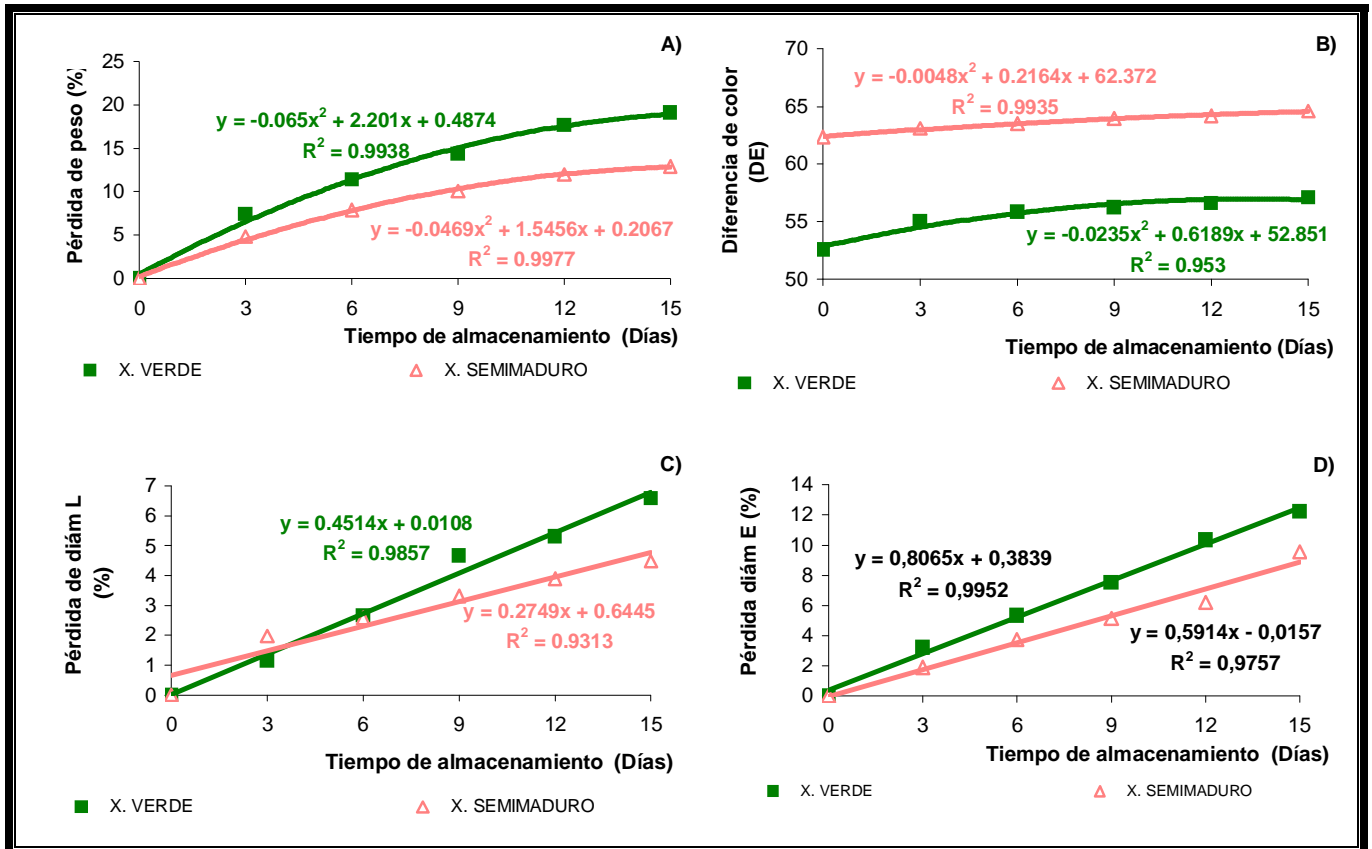
GRÁFICO 3. Comparación de pectina (% peso).

En el gráfico 3 se muestra el contenido de pectina de xoconostle cosechado en tres estadios de madurez, los datos obtenidos no fueron comparados con los datos bibliográficos ya que los autores consultados no reportan este valor. Se observa que el contenido de pectina disminuye según el estado de madurez pues mientras el fruto madura, pierde estructura.

Con lo anterior puede decirse que los componentes químicos que pueden indicar el grado de madurez del xoconostle son humedad, azúcares y pectina principalmente.

**OBJETIVO PARTICULAR 2.**

**Actividad 2.1 ANÁLISIS FÍSICOS**



**GRÁFICO 4.** Comparativos de algunas propiedades físicas del xoconostle cosechado en dos diferentes estadios durante su maduración. A) Pérdida de peso; B) Diferencia de color ( $\Delta E$ ); C) Pérdida de diámetro longitudinal y D) Pérdida de diámetro ecuatorial. (los datos se encuentran en el anexo 3).

**PÉRDIDA DE PESO.** Las curvas de la cinética de pérdida de peso, expresada como porcentaje del peso inicial, se muestran en el Gráfico 4A. Ambas curvas, de xoconostles verdes y semimaduros, se ajustaron a una ecuación cuadrática, lo cual quiere decir que la tasa de pérdida de peso fue distinta en cada día de medición, durante los 15 días.

El análisis indicó que la velocidad de pérdida de peso fue significativamente mayor en los xoconostles verdes que en los semimaduros ( $p < 0.001$ ). En el día 15 los promedios del porcentaje de pérdida de peso fueron de 19.05 y de 12.95 para xoconostles verdes y semimaduros respectivamente, provocando alteraciones en la firmeza de los frutos.

Ya que el peso es considerado como un parámetro de calidad que se toma en cuenta al momento de adquirir un producto, Pantástico (1987) recomienda como límite pérdidas de peso menores al 10% para la

mayoría de los frutos, pues posteriormente, los frutos pierden turgencia y los tejidos se vuelven blandos. En éste proyecto se consideraron 15 días como tiempo máximo para la determinación de todos los parámetros pues el proceso de maduración del xoconostle es lento en comparación con otros frutos como plátano, guayaba y guanábana (Flores, 2000).

**COLOR.** El cambio de color del xoconostle verde y semimaduro se ajustó mejor a una ecuación cuadrática (Gráfico 4B). A pesar de que la tasa de cambio de color fue mayor en el grupo de frutos verdes, no alcanzó el nivel del color inicial de los xoconostles semimaduros.

La desaparición del color verde refleja la maduración de los frutos. Inicialmente, se produce una pérdida gradual de la intensidad del color verde oscuro, hasta alcanzar una tonalidad más clara y en algunos productos ocurre una desaparición total del verde acompañada de la aparición de pigmentos amarillos o púrpura (Hobson, 1993).

En el xoconostle verde poco logran distinguirse los cambios de color de manera visual, sólo se notan disminuciones en la opacidad del verde; mientras que en el semimaduro los cambios son tales que el ojo humano es capaz de detectarlo, sin embargo durante los días que duró este estudio los xoconostles no alcanzaron el color rosáceo uniforme del fruto maduro (Figura 21).

**DIMENSIONES.** Aunque el crecimiento de la fruta es proporcional al aumento de su diámetro ecuatorial, una vez que el fruto ha sido cosechado, pierde la fuente que le suministraba los nutrientes necesarios para seguir creciendo, provocando la pérdida en sus dimensiones (Barret et al., 2005).

Las cinéticas de disminución de tamaño presentaron un comportamiento lineal (Gráfico 4C y 4D), por lo tanto la pendiente de la curva nos indicaría la velocidad de pérdida de peso y podría decirse que la pérdida de diámetros fue constante durante todas las mediciones. Este comportamiento se observó en ambos diámetros (longitudinal y ecuatorial), y en ambos grupos (xoconostles verdes y semimaduros). Las tasas de pérdida de los diámetros longitudinal y ecuatorial fueron significativamente mayores en los xoconostles verdes ( $p < 0.01$ ). En el día 15 los promedios del porcentaje de pérdida fueron: de diámetro longitudinal de 6.57 y de 4.48 y de diámetro ecuatorial de 12.22 y 9.55, en xoconostles verdes y semimaduros, respectivamente.

Dentro de las características físicas determinadas en el xoconostle, la pérdida de peso así como de dimensiones, es atribuida a la pérdida de líquidos, principalmente de agua, ya que se cree que la pérdida de agua en la pulpa y el rompimiento de ciertas sustancias complejas a simples formas durante la maduración del fruto es la principal causa de la reducción de peso en la pulpa (Astiasarán et al., 2003), que también se ve reflejada en la pérdida de firmeza.

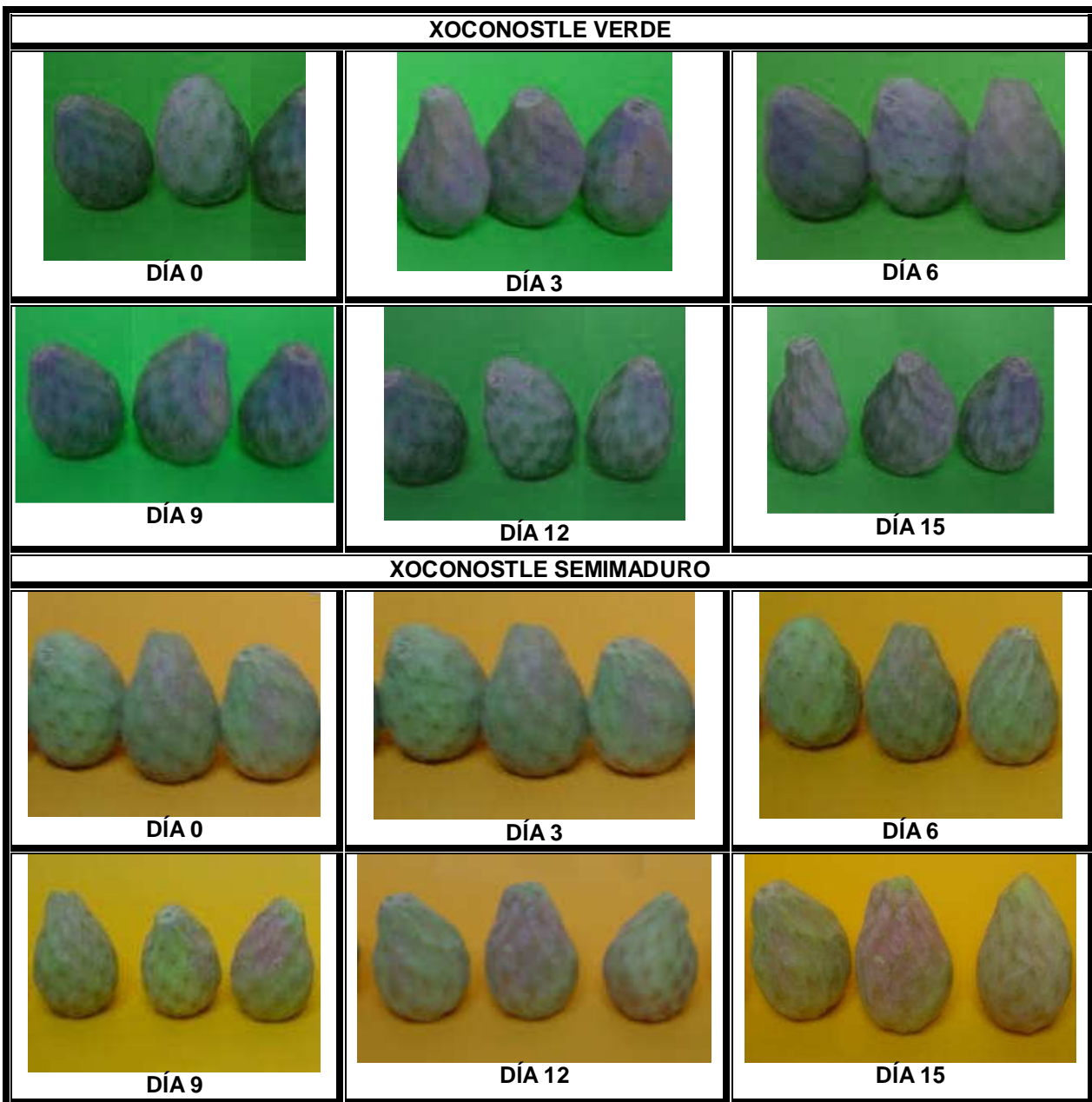


FIGURA 21. Fotografías que dan seguimiento a algunos cambios físicos de xocónostle cosechado en dos diferentes puntos de corte durante su maduración en condiciones ambientales.

**FIRMEZA.** Con respecto a la firmeza de la zona 2 (zona de corte), se encontró que la penetración aumentó linealmente con respecto al tiempo, la velocidad de aumento de penetración fue mayor en los xocónostles verdes ( $p < 0.05$ ), en el Gráfico 5 se muestran estos resultados junto con las ecuaciones de regresión ajustadas. No se logró establecer estadísticamente el tipo de relación entre el tiempo y el índice de penetración en la zona 1 (zona carnosa). Esto quizá se debió a la gran variabilidad que presentaron los datos, el coeficiente de variación de la dureza de la zona 1 fue de 60 %.

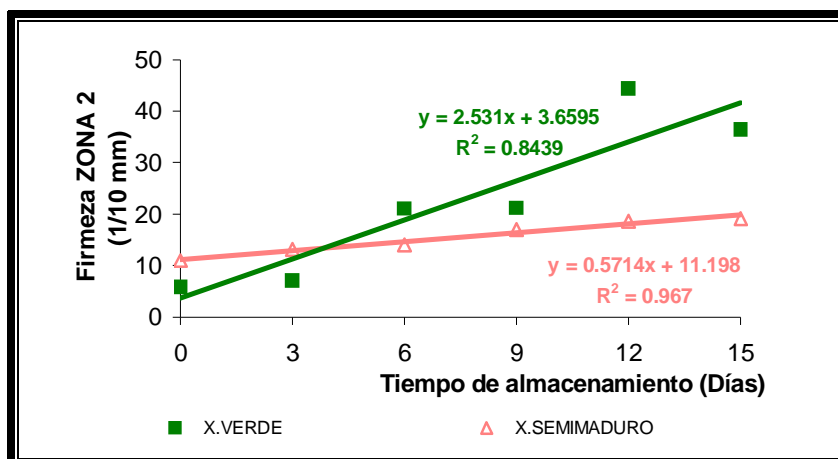


GRÁFICO 5. Comparativos de firmeza de xoconostle cosechado en dos diferentes estadios durante su maduración en la zona 2. (los datos se encuentran en el anexo 3).

El hecho de que el ablandamiento de tejido haya sido mayor en el xoconostle verde, no quiere decir necesariamente que el fruto haya madurado más, sino que puede deberse a los cambios en el grosor de la pared celular, permeabilidad de la membrana y la cantidad de espacios intercelulares que contribuyen al ablandamiento de los tejidos como lo sugiere Pantástico (1987).

Por otro lado, según Roe y Bruemmer (1981) el ablandamiento de la pulpa en el proceso de maduración puede ser ocasionado por la solubilización de sustancias pécticas además del incremento en la actividad de enzimas como poligalacturonasa, pectinesterasas y celulasas.

**SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES (SST).** En relación a los sólidos solubles totales (SST) expresados como °Brix (Gráfico 6C)), se observa que inicialmente presenta valores de 3.4 en xoconostle verde y de 4.8 en semimaduro, éstos fueron incrementándose de manera lineal en xoconostle semimaduro y cuadrática en el fruto verde durante su maduración hasta llegar a valores de 5.0 en verde y 5.9 en semimaduro en un tiempo de 15 días. De acuerdo a Gallegos y Hosannilla (1997), ésto puede ser atribuido a la degradación de polisacáridos durante la maduración tales como almidón y pectinas en sacarosa, glucosa y fructosa. Aunque cabe mencionar que los SST no solo son azúcares, también se encuentran presentes otros componentes tales como: vitaminas, minerales y ácidos orgánicos principalmente (Barret, 2005).

**RENDIMIENTO.** No se encontró relación entre rendimiento y estado de madurez de xoconostle por lo cual únicamente se reportan los promedios de la composición en por ciento en peso de pulpa, cáscara y semillas del fruto, la cual fue de 64.79, 14.20 y 13.36 para xoconostle verde y de 72.44, 16.51 y 18.69 para semimaduro, respectivamente.

Es importante calcular el rendimiento de los frutos ya que de esta manera se puede efectuar un aprovechamiento integral de los mismos evitando pérdidas en alguno de sus componentes.



Actividad 2.2 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS

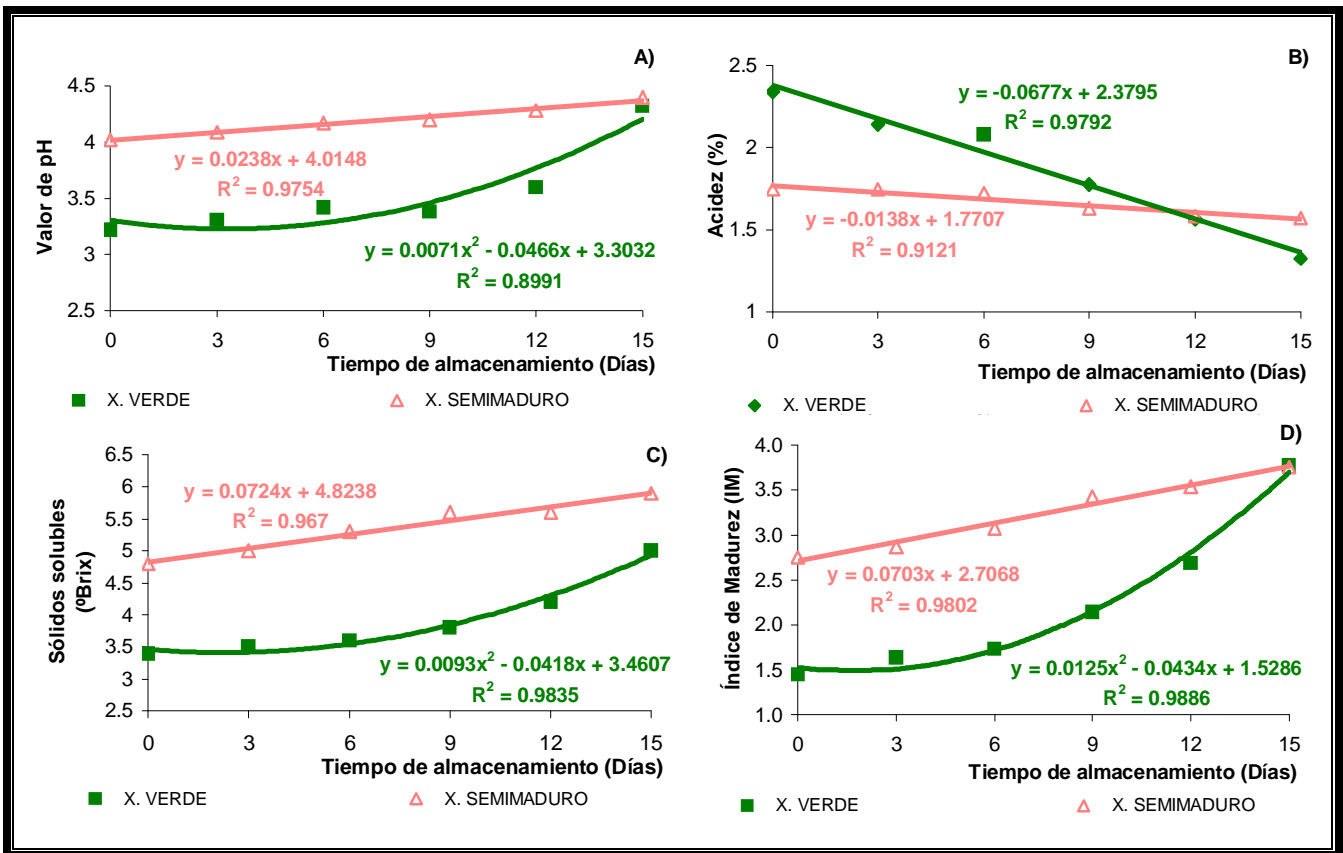


GRÁFICO 6. Comparativos de propiedades fisicoquímicas de xoconostle cosechado en dos diferentes estadios durante su maduración. A) pH; B) Acidez; C) Sólidos solubles y D) Índice de madurez. (los datos se encuentran en el anexo 3).

**pH.** Se observó que en ambos estados de madurez el pH aumentó con el tiempo, en estado verde siguió un comportamiento cuadrático, es decir, no se apreció una tasa de aumento de pH constante, mientras que en semimaduro fue lineal, lo cual indica que el incremento de éste parámetro resulta constante en los diferentes tiempos de medición durante los 15 días que duró este estudio. Se obtuvo un valor máximo promedio de 4.32 para xoconostle verde y de 4.40 para xoconostle semimaduro. El xoconostle verde siempre presentó valores más altos que el semimaduro (Gráfico 6 A).

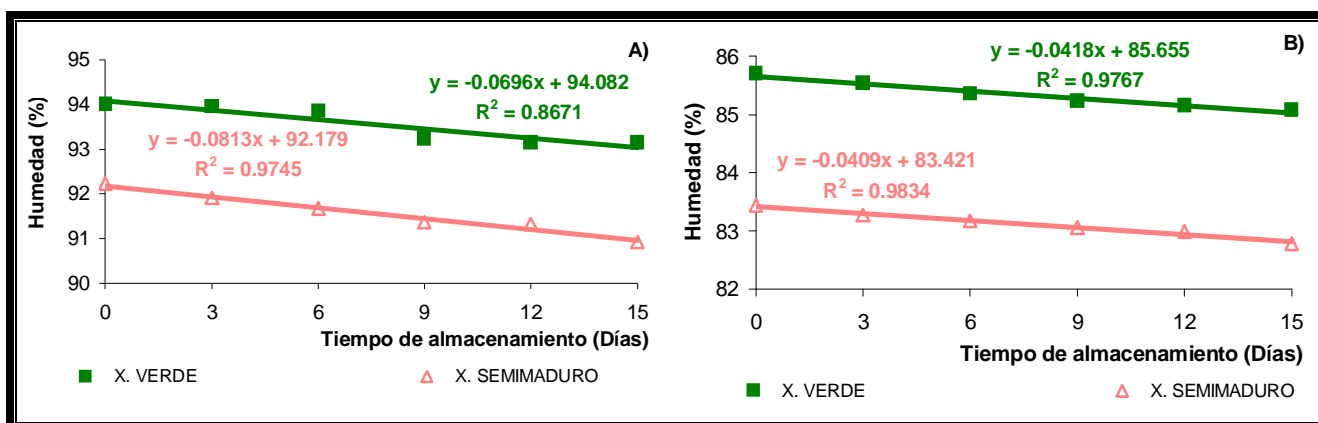
**ACIDEZ.** La acidez expresada como por ciento en peso de ácido cítrico, disminuyó linealmente con respecto al tiempo, varió de un valor inicial de 2.43 hasta 1.32% en el día 15 en xoconostle verde y de 1.74 a 1.57% en el fruto semimaduro (Gráfico 6 B). La velocidad de disminución fue mayor en xoconostle verde ( $p < 0.05$ ).

**ÍNDICE DE MADUREZ (IM).** El comportamiento del índice de madurez del xoconostle semimaduro fue linealmente ascendente, en comparación el índice de madurez del verde mostró un comportamiento cuadrático, como se puede observar en el Gráfico 6 D, en donde también se ve una tendencia a la intersección en un tiempo posterior, lo que probablemente indicaría que el xoconostle verde pudiera alcanzar el índice de madurez del fruto semimaduro, sin embargo, los atributos de calidad del xoconostle como peso, dimensiones y color, no serían los más adecuados.

Actividad 2.3 ANÁLISIS QUÍMICOS

**HUMEDAD.** El contenido de humedad de xoconostle fue determinado mediante el analizador de humedad halógeno (método 2) y el método de estufa de aire (método 1). Este parámetro expresado como por ciento en peso de humedad disminuyó linealmente con ambos métodos (Gráfico 7 A y B). La velocidad de pérdida de humedad fue de 0.06% y 0.08% en xoconostle verde y semimaduro con el método de estufa de aire y de 0.04% en ambos xoconostles empleando el analizador de humedad halógeno.

El xoconostle verde presentó mayor contenido de humedad que el semimaduro desde el inicio del estudio (aproximadamente de 2%). La pérdida de humedad en el tiempo 15 días fue de 0.86% y 0.62% empleando el método 1 y 2 respectivamente en xoconostle verde y de 1.3% y 0.66% en xoconostle semimaduro, lo cual indicó que el fruto semimaduro perdió mayor contenido de agua que el verde. Quizá fue porque mientras continúa el proceso de maduración, el xoconostle sigue respirando y transpirando generando una serie de cambios en los componentes del mismo y por la acción de su propio metabolismo el fruto va perdiendo agua en cantidades considerables (García, 2005).

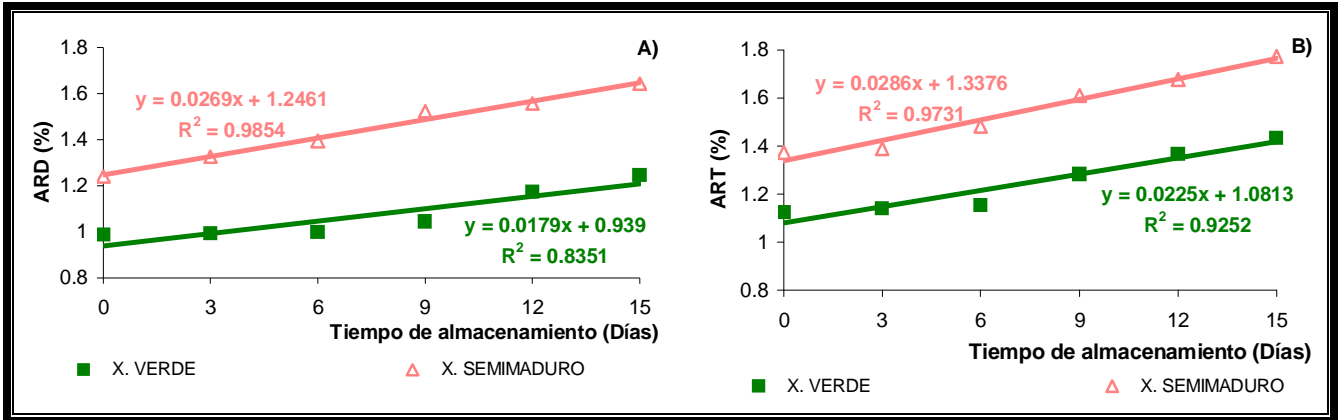


**GRÁFICO 7.** Porcentaje de humedad de xoconostle cosechado en dos diferentes estadios durante su maduración mediante dos métodos distintos. A) Método de estufa de aire; B) Analizador de humedad halógeno. (los datos se encuentran en el anexo 3).

Ya que las pérdidas de agua en la pulpa de xoconostle fueron de alrededor de 1%, en este estudio se partió del supuesto de que las pérdidas de humedad ocurridas en el fruto se llevaron a cabo en el pericarpio y no en la pulpa. Pues las moléculas que se encuentran en la cáscara se van evaporando con relación al tiempo y esto no ocurre tanto por el proceso de maduración, más bien es porque estas moléculas interactúan directamente con las condiciones ambientales (temperatura y humedad relativa, principalmente), y poco a poco se van evaporando provocando en la cáscara una apariencia de sequedad, seguida por un endurecimiento de la misma.

**AZÚCARES REDUCTORES.** Las cinéticas de azúcares reductores directos (ARD) y totales (ART) siguieron una tendencia lineal (gráfico 8 A y B). Se observó mayor contenido de ART que ARD (alrededor de 0.2%). El contenido de ART se incrementó de 1.12% al inicio de éste estudio a 1.43% en el día 15 en xoconostle verde y

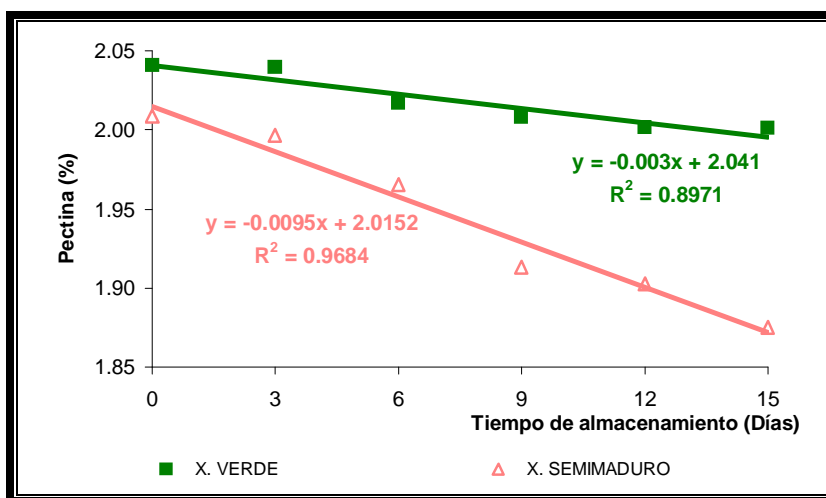
de 1.37% a 1.77% en el fruto semimaduro. Respecto a los ARD aumentaron de 0.98% a 1.24% en estado verde y de 1.24 a 1.64% en estado semimaduro.



**GRÁFICO 8.** Porcentaje de azúcares reductores de xoconostle cosechado en dos diferentes estadios durante su maduración. A) Azúcares reductores directos (ARD) y B) Azúcares reductores totales (ART). (los datos se encuentran en el anexo 3).

Los principales azúcares que componen al xoconostle son glucosa, fructosa y sacarosa y a pesar de que se lleva a cabo una degradación de almidón a éstos últimos y debido a que la acidez del xoconostle es muy elevada resultó casi imperceptible la aparición del dulzor en el mismo predominando sabor ácido en la pulpa del fruto.

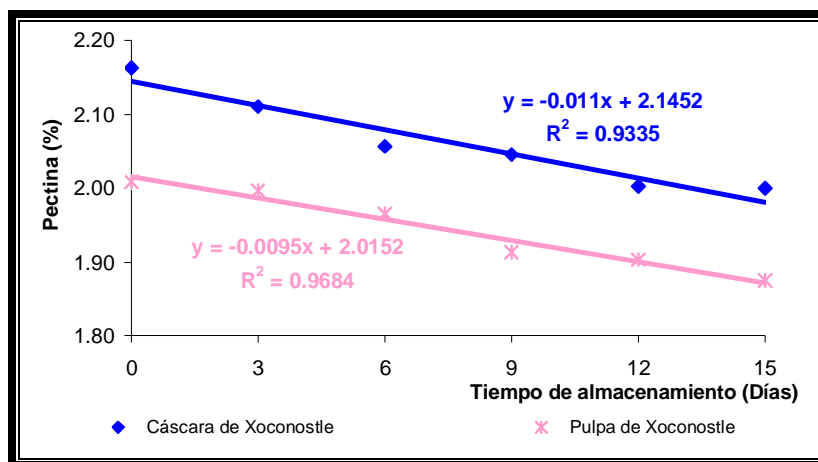
**PECTINA.** Se determinó el contenido de pectina en pulpa de ambos xoconostles (verde y semimaduro) además de la pectina de la cáscara de xoconostle semimaduro; ya que durante la maduración la degradación de almidón no es la única que se efectúa, también son degradados otros compuestos poliméricos, especialmente sustancias pécticas y hemicelulosas; pues éste componente ocasiona que se debiliten las paredes celulares al igual que las fuerzas cohesivas que mantienen unas células unidas a otras. (Primo, 1998).



**GRÁFICO 9.** Porcentaje de pectina en xoconostle cosechado en dos estadios durante su maduración. (los datos se encuentran en el anexo 3).

El contenido de pectina disminuyó linealmente en el xoconostle verde (0.04%) y en semimaduro (0.13%) gráfico 9. El xoconostle verde presentó mayor contenido de pectina que el semimaduro, así mismo en éste ultimo se presentaron mayores cambios a través del tiempo que en el primero generando mayores pérdidas en la estructura del fruto y ablandamiento de tejidos. Astiasarán (2003) establece que el contenido de pectina en frutos no se modifica más bien lo hace la protopectina, que es un precursor insoluble de la pectina, va gradualmente degradándose a fracciones de peso molecular más bajo que son más solubles en agua.

Por otro lado la cáscara de xoconostle presentó mayor cantidad de pectina que la pulpa, pero al igual que sucedió en la pulpa, la pectina de la cáscara se fue solubilizando mientras se daba la maduración del fruto (gráfico 10).



**GRAFICO 10.** Porcentaje de pectina en cáscara y pulpa de xoconostle cosechado en estado semimaduro. (los datos se encuentran en el anexo 3).

Resultó interesante determinar el contenido de pectina ya que industrialmente éste componente es extraído principalmente de cítricos, los cuales poseen un contenido aproximado del 3 – 4% en la cáscara y por consiguiente, el xoconostle tanto en pulpa en estado verde como en cáscara en semimaduro presentó aproximadamente un 2% cantidad que podría ser bien aprovechada.

#### Actividad 2.4 ANÁLISIS TERMODINÁMICOS

**ACTIVIDAD DE AGUA.** La actividad de agua ( $A_w$ ) fue mayor en el xoconostle verde que en semimaduro (ver gráfico 11). Los valores oscilaron entre 0.97 – 0.99 lo cual indica que los frutos y particularmente los xoconostles son altamente perecederos, pues esta propiedad representa la disponibilidad de agua presente y por consiguiente el tipo de reacciones que muy probablemente se llevarán a cabo.

Este parámetro fue aumentando linealmente respecto al tiempo en ambos casos (pulpa de xoconostle verde y semimaduro) a pesar de que el contenido de agua disminuyó; esto se puede explicar debido a que conforme madura el fruto, el agua que se encontraba ligada a otros componentes se libera y por consiguiente existe una mayor cantidad de agua disponible en el sistema que permite que se efectúen otro tipo de

reacciones; principalmente enzimáticas, degradación de pigmentos, vitaminas y de descomposición por microorganismos (Fernández, 1993).

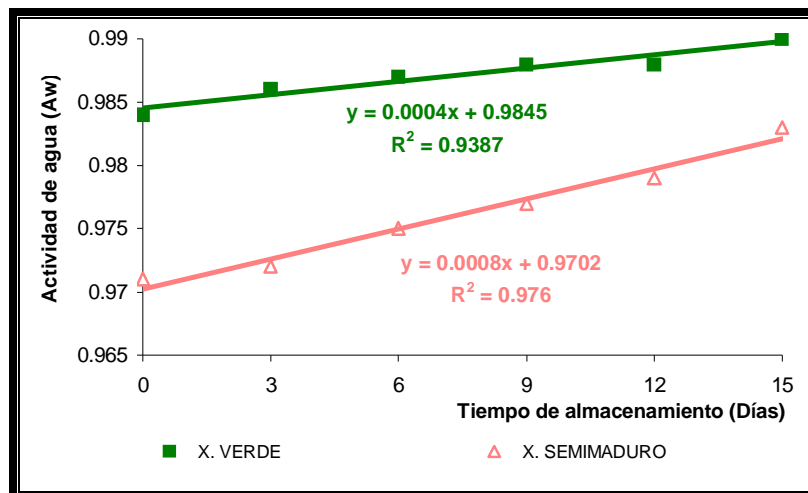


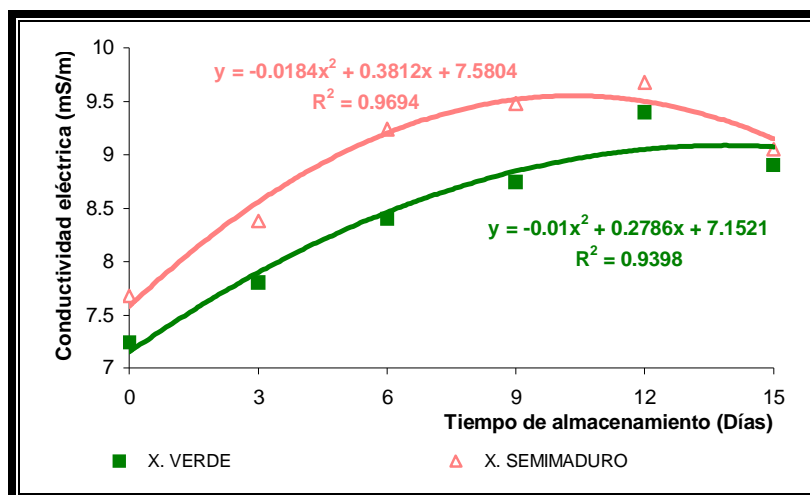
GRÁFICO 11. Actividad de agua de xoconostle cosechado en dos diferentes estadios durante su maduración. (los datos se encuentran en el anexo 3).

La Aw no solo está influenciada por el contenido de agua, además se encuentran involucrados otros solutos tales como azúcares, vitaminas y minerales, que poseen bajos pesos moleculares pero como interactúan íntimamente con moléculas de agua provocan una disminución en la presión de vapor del agua ejercida en el alimento y por consiguiente una disminución de la pérdida de actividad de agua.

Finalmente cabe mencionar que con este parámetro termodinámico puede predecirse la vida útil del producto y evitarse la descomposición temprana de los frutos.

**CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.** La conductividad eléctrica siguió un comportamiento cuadrático en los dos estadios de madurez estudiados, fue mayor para el xoconostle semimaduro que para el verde y en ambos casos, el valor máximo se presentó en el día 12 de la experimentación y posterior a ésta medición, la conductividad decayó ligeramente (gráfico 12).

El xoconostle presentó conductividades elevadas en comparación con otros frutos (ver tabla 8 citada en texto), ésto se explica por el alto contenido de agua en el cual los sólidos con carga (partículas iónicas) tales como vitaminas, sales, minerales y ácidos orgánicos, se encuentran disueltos en el medio acuoso e interactúan unos con otros; pues la medición de la conductividad eléctrica de una solución nutritiva tiene una relación directa con la cantidad de materiales sólidos disociados que hay disueltos en ella (Montoya, 1994)a).



**GRÁFICO 12.** Conductividad eléctrica de xoconostle cosechado en dos diferentes estadios durante su maduración. (los datos se encuentran en el anexo 3).

Además, se ha relacionado este parámetro con la permeabilidad de la membrana durante la maduración de los frutos, así como con los desórdenes fisiológicos desarrollados durante el almacenamiento de frutas a bajas temperaturas (Montoya, 1994) c). Puede decirse que la membrana de los xoconostles se hace más permeable a través el tiempo ya que las pectinas, hemicelulosas y otros componentes conformadores de la misma se van solubilizando, debilitando de ésta manera la membrana de las células provocando rompimiento de tejidos y por lo tanto liberación de líquidos con solutos disueltos que ocasionan nuevamente incremento en la conductividad.

Finalmente, la conductividad eléctrica disminuyó en el último día de medición debido a que para mantener en equilibrio el sistema con el medio que le rodea, el agua contenida debe evaporarse y a pesar de que algunos solutos siguen presentes, ya no hay suficiente líquido para que continúen con la misma intensidad las interacciones entre todas las moléculas.

### OBJETIVO PARTICULAR 3.

#### Actividad 3.1 INTENSIDAD RESPIRATORIA

**DURANTE UN DÍA.** En el gráfico 13 A) se muestra el comportamiento del fruto seguido en el transcurso de un día, la prueba fue realizada cada 1 ½ horas resultando finalmente que la hora del día a la cual el xoconostle respiró más tanto en estado verde como semimaduro fue a las 11:30 hrs por lo que el resto de los días (cada 3 días durante 15 días), se efectuó la medición de la intensidad respiratoria a esta misma hora con la finalidad de mantener las condiciones. Además, se aprecia que entre más temprano se efectúa la prueba menor es el índice respiratorio y después de las 11:30 los valores también disminuyeron, ésto puede ocurrir porque la intensidad respiratoria se encuentra en función de la temperatura interna de la cámara.

El valor máximo alcanzado en este punto fue de 44.5 mgCO<sub>2</sub> / Kg h en xoconostle verde y de 30.93 mgCO<sub>2</sub> / Kg h en semimaduro.

**DURANTE 15 DÍAS.** El gráfico 13 B) representa el patrón respiratorio de xoconostle en dos diferentes puntos de corte durante su maduración a temperatura ambiente. Para ambos casos, el fruto presentó un comportamiento completamente diferente ya que mientras en el xoconostle semimaduro claramente se aprecia el pico climatérico, en el verde se sugiere un comportamiento horizontal, es decir, no se aprecia claramente un aumento en el índice de madurez durante el periodo estudiado.

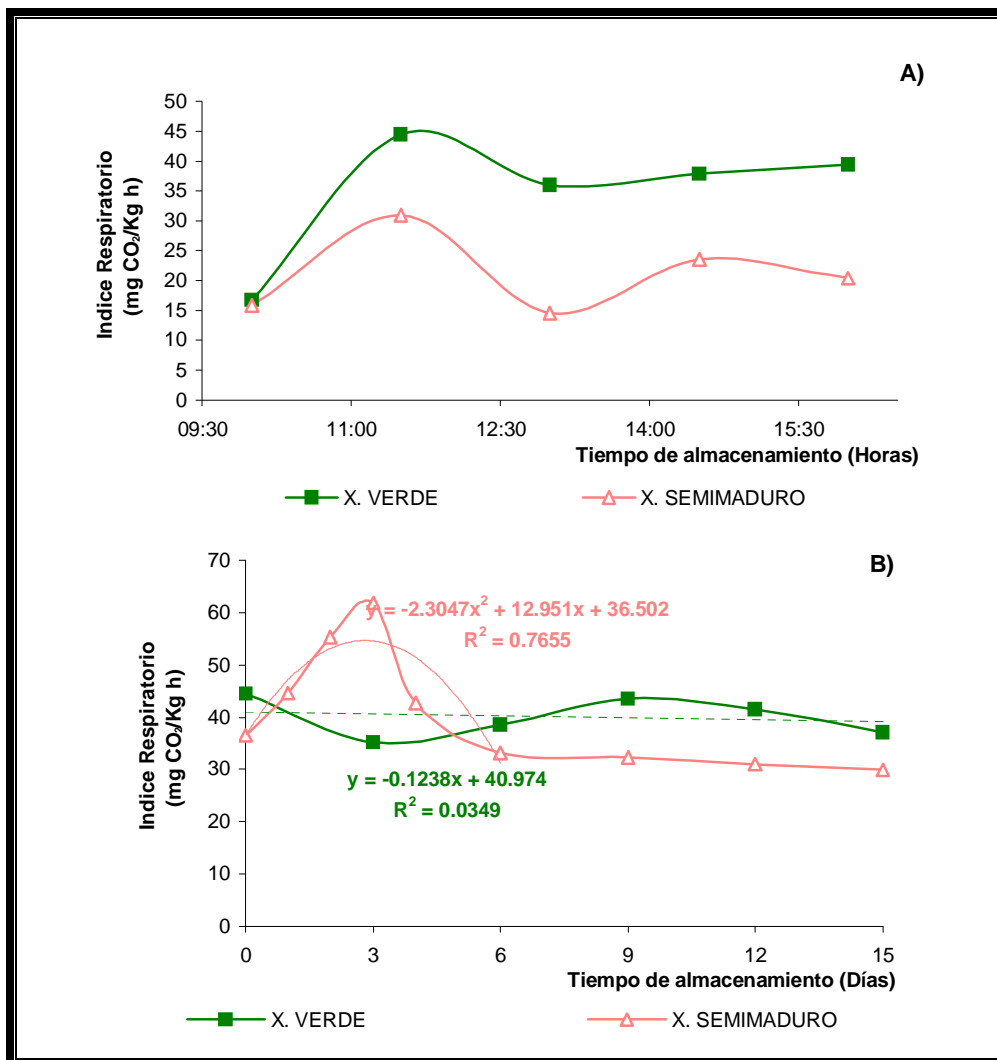
Se calculó el modelo lineal de segundo orden para la parte de la curva correspondiente al pico climatérico del xoconostle semimaduro y se calculó una regresión lineal para el fruto en punto de corte verde.

Se parte del supuesto de que el xoconostle verde sufrió cambios en su metabolismo, los cuales le impidieron que se llevara a cabo el proceso normal de la respiración del fruto y por ese motivo se observaron las variaciones considerables en la curva mostrada.

El xoconostle semimaduro presentó un pico climatérico aparente en el día 3 y para corroborar este resultado se llevó a cabo la repetición de la prueba durante los primeros 5 días; el máximo climatérico para este caso fue de 61.86 mgCO<sub>2</sub> / Kg h. Para xoconostle verde se obtuvieron valores que oscilaron en el intervalo de 35 – 44 mg CO<sub>2</sub>/Kg h.

La intensidad respiratoria es considerada como un indicador de la vida potencial de almacenamiento del fruto. Pues una tasa elevada de respiración va asociada con una corta vida en almacenamiento. También es indicadora de la tasa a la cual el fruto se está deteriorando en calidad y valor alimenticio. (Pantástico, 1987). Por lo anterior además, considerando los valores obtenidos puede decirse que la velocidad de producción de bióxido de carbono no es elevada por lo que a pesar de que el xoconostle es un producto perecedero, no entra en descomposición tan rápidamente como ocurre con otros frutos.

La intensidad y duración de la respiración climatérica varía ampliamente con las diversas especies. (Wills, 1989). El xoconostle al igual que otras opuntias tal como tuna y nopal, mostró un comportamiento no climatérico en ambos estadios de corte, se infirió que a pesar de que en semimaduro se mostró un aparente pico climatérico entre el tiempo 0 – 6 días, las tasas de respiración no fueron tan elevadas como en el caso de otros frutos no climatéricos como la fresa (Barret, 2005). Debido a las aparentes variaciones en el patrón respiratorio del xoconostle se consideró necesario establecer las características y condiciones necesarias para obtener éste parámetro tales como temperatura, punto de corte, tiempo de medición, cantidad de muestra, etc.



**GRÁFICO 13.** Intensidad respiratoria de xoconostle cosechado en dos estadios durante su maduración. A) Cada 1 ½ hrs y B) Cada 3 días. (los datos se encuentran en el anexo 3).

Finalmente cabe mencionar que la intensidad respiratoria depende del grado de desarrollo del fruto y el incremento de la producción de CO<sub>2</sub> se debe a la producción de energía que proviene de la oxidación de las propias reservas del fruto así como del conjunto de reacciones que se llevan a cabo para la formación de compuestos más simples (azúcares y ácidos orgánicos), las cuales van disminuyendo lentamente hasta alcanzar un estado de madurez óptimo en el que ya no sea posible degradar más compuestos sin necesidad de causar deterioro en las características del fruto.



**CONCLUSIONES**

Inicialmente se concluye que a través de diversos análisis se llevó a cabo la caracterización del xoconostle recién cortado en estado verde, semimaduro y maduro; permitiendo de ésta manera incrementar la información existente relacionada con el mismo ya que, como se ha mencionado previamente, a pesar de que es un fruto originario de México y se encuentra en abundancia en diversas regiones del país; ha sido poco estudiado y utilizado.

Mediante el estudio cinético de diversos parámetros físicos, fisicoquímicos, químicos, termodinámicos y fisiológicos se caracterizó la maduración del xoconostle cosechado en dos diferentes estadios de madurez y almacenado a temperatura y humedad relativa ambientes.

Las características encontradas en cada punto de medición fueron consideradas como parámetros indicadores de la evolución de la madurez del fruto.

Como caracterización resultaría que el xoconostle proveniente de Tlahuelilpan, Hidalgo, es un fruto que pesa entre 58 – 63 g, sus dimensiones oscilan entre 4 – 5 cm de diámetro ecuatorial y 5 – 6 cm de diámetro longitudinal.

Las pérdidas de peso superaron el 10% en el 6<sup>o</sup> día de almacenamiento del xoconostle verde y en el día 9 en el semimaduro por lo que presentaron magulladuras y marchitamiento, seguidas de un excesivo ablandamiento del tejido; debido a la transpiración, pérdida de agua y solubilización de pectinas, siendo más notorio en el xoconostle verde.

Dependiendo del estado de madurez en el cual se encuentre dependerá el color superficial siendo rosáceo para cuando está en plena madurez fisiológica y verde cuando aún no alcanza la madurez. En los dos frutos se observaron diferencias de color ( $\Delta E$ ) significativas, sin embargo, el color en el fruto verde cambió en mayor grado sin alcanzar el color de un fruto maduro.

Es un fruto con alto rendimiento ya que en promedio poco más del 70% está constituido por pulpa y el resto lo conforman la cáscara y la semilla.

Posee un pH de 3 – 4, una acidez de 1 – 2% expresada como ácido cítrico y 3.5 – 6.2 °Brix, éstos valores al igual que sus propiedades físicas dependerán del grado de madurez del fruto.

Debido a sus altos valores de acidez, el xoconostle es un fruto que puede conservarse varios semanas una vez que ha sido cosechado sin sufrir deterioro microbiológico.

El índice de madurez (IM) expresado como la relación entre el contenido de sólidos solubles y porcentaje de acidez fue mayor en xoconostle semimaduro que en verde; los valores se modificaron con respecto al tiempo llegando finalmente a un IM de 3.77 para xoconostle semimaduro y de 3.75 para el verde.

La composición química aproximada del fruto es: humedad 90 – 94%, proteína 0.16 – 0.20%, grasa 0.24 – 0.32%, azúcares 1.1 – 1.8%, fibra cruda 3.4 – 3.7%, cenizas 0.86 – 0.88% y pectina aproximadamente de 2%. Cabe mencionar que ésta composición es variable según la región donde se cosecha, la época del año, el estado de madurez, entre otros factores.

No obstante, los componentes químicos que se modificaron significativamente durante el proceso de maduración del fruto únicamente fueron azúcares reductores, humedad y pectina.

La actividad de agua ( $A_w$ ) y conductividad eléctrica fueron relacionadas con la composición química del xoconostle en los dos diferentes puntos de corte, sobre todo con el contenido de humedad y porcentaje de sólidos presentes.

Se encontró que el xoconostle verde presentó actividades de agua mayores que en el semimaduro, ya que ésta propiedad es una medida indirecta del contenido de agua libre y debido a que el xoconostle verde sufrió mayores pérdidas en estructura, el agua que se encontraba ligada a otros componentes se liberó ocasionando un aumento en la  $A_w$ .

Respecto a la conductividad eléctrica fue mayor en xoconostle semimaduro que en verde; diversos estudios han demostrado que ésta propiedad puede ser medida como otro indicador de la madurez, pues en muchos casos el máximo valor obtenido se ha relacionado con el índice respiratorio de los frutos; además se ha visto que el incremento de la permeabilidad de la membrana de las células es seguido por el aumento de solutos disueltos en agua provocando finalmente pérdidas importantes en la estructura del fruto.

Por último se determinó que el xoconostle no es un fruto que genere enormes cantidades de bióxido de carbono mientras respira comparado con otros frutos; al realizar la medición de intensidad respiratoria se observó que la mayor cantidad de  $\text{mg CO}_2 / \text{Kg h}$  producidas fue de 43.56 para xoconostle verde en el día 9 y de 61.86 para el fruto semimaduro en el día 3.

Con éste análisis se observó que a pesar de que se trató del mismo fruto, presentó diferente patrón respiratorio según el punto de corte en el cual fue cosechado. Por los resultados obtenidos se sugiere que el fruto en estado verde es no climatérico y en semimaduro a pesar de que parece presentar un pico climatérico característico en el tercer día de experimentación, posteriormente muestra un comportamiento prácticamente lineal y se consideró que también resultó no climatérico; lo anterior posiblemente se debió a que el fruto sufrió alteraciones en su metabolismo por haber sido cosechado prematuramente.

Se infirió que el comportamiento respiratorio está influenciado por otros factores propios del fruto tales como su composición, grado de madurez, tamaño; además de otros factores externos como la temperatura, la composición de la atmósfera que rodea al fruto, etc.

Además se concluye que el proceso de maduración se efectúa, aunque muy lentamente, de una manera más adecuada en el xoconostle cosechado en estado semimaduro ya que en éste punto de corte, el fruto desarrolla los atributos de calidad básicos para ser aceptado por el consumidor y las pérdidas sufridas – ocasionadas por malas técnicas tanto de recolección como de almacenamiento – son menores.

La manipulación adecuada y el almacenamiento a mediano y/o largo plazo, buscan reducir dichas pérdidas de los productos cosechados a fin de preservar sus características, asegurando el abastecimiento de los mercados en épocas de escasez y la obtención de mejores precios para el productor y consumidor respectivamente.

Todo esto conllevó a considerar que el xoconostle es una especie muy valiosa perteneciente a la familia de las Opuntias y por tanto es necesario crear conciencia entre productores, comerciantes mayoristas y agro exportadores, mediante la propagación de la información recabada en este tipo de investigaciones, para de este modo difundir las propiedades y beneficios tanto nutricionales como a la salud que el fruto proporciona al ser consumido frecuentemente; además de sugerir prácticas apropiadas tanto de manipulación postcosecha como de almacenamiento para la preservación de los parámetros que rigen la calidad de los productos cosechados.

Finalmente cabe resaltar que los resultados de este estudio proveen información básica de las características del xoconostle que pueden ser útiles para proponer alternativas de transformación y de este modo aumentar su consumo y disminuir las pérdidas poscosecha.

# RECOMENDACIONES

Debido a que los frutos empleados en éste trabajo perdieron rápidamente sus atributos de calidad y no alcanzaron en su totalidad las características típicas de un xoconostle maduro, pues se altero su metabolismo, ya que fueron almacenados a temperatura y humedad relativa ambientales ( $T = 22-25^{\circ}\text{C}$  y  $\text{H.R.} = 50 - 55\%$ ); se recomienda elegir nuevas condiciones de almacenamiento, hasta encontrar las más adecuadas para determinar que tanto cambia el comportamiento postcosecha del xoconostle incrementando la humedad relativa ambiental y modificando las temperaturas del almacén.

Los parámetros cuantificados experimentalmente a lo largo de éste proyecto permitieron dar seguimiento al proceso de maduración del xoconostle, pero es importante recalcar que éstos deben ser considerados en conjunto, de lo contrario, si son analizados de manera individual o aislada, sólo pueden indicarse algunas de las características del fruto y no su comportamiento postcosecha durante su maduración.

Si se desearan reproducir éstos resultados es recomendable adquirir los xoconostles en la misma plaza, definir el punto de corte con el cual se desee trabajar, emplear las mismas condiciones experimentales, etc., pues de otro modo los resultados variarán respecto a lo aquí citado.

La selección del tamaño de muestra, y de las condiciones trabajadas fueron elegidas de manera aleatoria, pues como se ha mencionado son pocos los estudios relacionados con xoconostle; por lo cual, se espera que éste trabajo sirva como sustento teórico para estudios posteriores.

Una de las limitaciones presentadas durante la experimentación fueron los recursos del laboratorio por lo que a pesar de existir técnicas de análisis más sofisticadas y precisas para la cuantificación de los parámetros determinados, se recurrió a las propuestas en la metodología por lo cual se sugiere emplear otros métodos para de esta manera contribuir en la mejora de éste proyecto.

En base a los resultados expuestos, se les recomienda a los principales productores de xoconostle cortar sus frutos cuando éstos se encuentren en estado semimaduro ya que si se cosechan prematuramente los frutos tardarán más tiempo en madurar, si es que su metabolismo no se ve afectado, y posiblemente no se alcance un óptimo desarrollo; en cambio si se extraen de la planta en estado semimaduro los xoconostles conservarán sus atributos de calidad por más tiempo y sufrirán menor cantidad de pérdidas de humedad, daños en estructura, entre otros; lo cual se verá repercutido en el costo final del producto.

Cabe resaltar que debido a que el xoconostle presentó bajos índices de respiración; los cambios físicos, fisicoquímicos, químicos y termodinámicos no son tan rápidos durante la maduración del fruto; por lo que se recomienda almacenarlo en condiciones adecuadas, para incrementar la vida útil del producto, es decir, que se conserve en buen estado sin que cause daño por periodos prolongados de tiempo (varias semanas).

Uno de los propósitos de llevar a cabo ésta investigación fue el proponer alternativas de consumo del xoconostle de acuerdo a los resultados arrojados en la experimentación, para de ésta manera incrementar la ingesta del mismo y mejorar su comercialización, pues como se pudo observar, es un fruto que ha sido poco empleado a pesar de que posee alto contenido en fibra, pectina y un elevado porcentaje de acidez; por lo que se sugiere que ya que proporciona un sabor agridulce al paladar se elaboren no solo platillos típicos o artesanales sino también productos industrializados de alto consumo tales como: mermeladas, ates, almíbares, dulces, refrescos, jugos, néctares, conservas, entre otros.

En éste estudio se encontró que el contenido de pectina en cáscara y pulpa de xoconostle fue elevado comparado con otros frutos, por lo que sería importante determinar la calidad de ésta y en caso de proporcionar características similares a las pectinas comerciales, se propone que se establezcan algunos métodos de extracción de éste componente.

A pesar de ser un fruto con alto contenido en pulpa, en gran escala se generarían desperdicios considerables en cuanto a cáscara y semilla, por lo cual sería interesante llevar a cabo la caracterización de éstos componentes para posteriormente proponer algunas opciones de transformación y finalmente conseguir un aprovechamiento integral del fruto.

# BIBLIOGRAFÍA



- Almanza R. A., (1999). Cocina indígena y popular. recetario guanajuatense del xoconostle. Comisión Nacional para la Cultura y las Artes, México, pp. 134.
- AOAC (2000). Official methods of analysis of the association of official analytical chemists AOAC, food composition, additives; natural contaminants, Volumen II, 17<sup>th</sup> Ed., publicado por the association of official analytical chemist, Inc. Arlington, USA, pp. 1298.
- Arano C. R. (2003). Valores de conductividad eléctrica en vegetales. Disponible en: [http://ar.geocities.com/c\\_arano/](http://ar.geocities.com/c_arano/)
- Astiasarán A. I., Martínez H. A. J., (2003). Alimentos composición y propiedades. McGraw Hill interamericana, España, p. 191-201.
- Badui D.S., (1999). Química de alimentos. Alambra mexicana, México, pp. 424.
- Barret D. M., Somogyi L., Ramaswamy H., (2005). Processing fruits science and technology, 2<sup>da</sup> Ed., CRC press, USA, pp. 3 – 22, 53 – 72.
- Bedolla B.S., Dueñas G.C., Esquivel I.I., Favela T.T., Guerrero H.R., Mendoza M.E., Navarrete L.A., Olguín M.L.E., Ortiz G.J., Pacheco P.O., Quiroz B.M., Ramírez S.A. and Trujillo C.M., (2003). Introducción a la Tecnología de Alimentos, 2<sup>da</sup> Ed., Limusa, México, pp.367.
- Borrego E. F. y Burgos V. N., (1986). El nopal, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, México, pp.145.
- Bueno J. (1997). Enocianina, antocianos, E-163. Disponible en: [www.personales.mundivia.es/josebueno/enocianina.htm](http://www.personales.mundivia.es/josebueno/enocianina.htm)
- Casas A. y Barbera G., (2002). Mesoamerican domestication and diffusion. in cacti: biology and uses, University of California Press, Berkeley-Los Angeles- London, p. 143-162.
- Castellanos C. P., I. E. López C., J. M. De Luna E. y C. A. Flores V., (1999). Costos de producción y comercialización de tuna (*opuntia spp.*) en la región de san martín de las pirámides. En: Memoria del VIII congreso nacional y VI internacional sobre conocimiento y aprovechamiento de el Nopal. 6-10 de septiembre. San Luis Potosí, México, p. 54-55
- Chirife J., Zamora M. C. y Motto A., (2006). The correlation between water activity and % moisture in honey: fundamental aspects and application to Argentine honeys. Journal of food engineering: 72 p. 287–292.
- Cheftel J. C., Cheftel H. y Besançon P., (1999). Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos. Volumen I. Acribia, España p. 19, 135 - 208.
- Cheftel J. C., Cheftel H. y Besançon P., (1999). Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos. Volumen II. Acribia, España p. 31 – 37.
- Conductividad eléctrica. Universidad de Chile. Disponible en: [http://cipres.cec.uchile.cl/~iq54a/apuntes/instrumentos/08\\_conductor/conductor.html](http://cipres.cec.uchile.cl/~iq54a/apuntes/instrumentos/08_conductor/conductor.html)
- Corrales G.J. y Flores V.C.A., (2002). Tendencias actuales y futuras en el procesamiento del nopal y la tuna. reporte de investigación, Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial, Universidad Autónoma Chapingo, México.
- De León R. J. M., J. M. De Luna E. y C. A. Flores V., (1999). Costos de producción y comercialización de tuna (*opuntia spp.*), en el altiplano potosino-zacatecano. En: Memoria del VIII congreso nacional y VI

- internacional sobre conocimiento y aprovechamiento de el Nopal. 6-10 de septiembre. San Luis Potosí, México, p. 56-57.
- 📖 Delgado A. A., (1985). Caracterización de la variación de algunos componentes químicos del fruto (“tuna”) del nopal (*Opuntia* spp.) tunero en el altiplano potosino-zacatecano. Tesis profesional, Universidad Veracruzana, Orizaba, Veracruz.
- 📖 El Kossori R.L., Villaume C., El-Boustaini E., Sauvaire Y. y Mejean L., (1998). Composition of pulp, skin and seeds of prickly pears fruit (*opuntia ficus-indica*). Plant food hum. Nutr.: 52. p. 263.
- 📖 Fachmann W., Souci S. W., (2000). Food composition and nutrition tables, Medpharm, USA, pp. 992.
- 📖 FAO, (2005), Food and agricultural organization. base de datos de producción mundial y comercio internacional de frutas y vegetales. Disponible en: [www.fao.org/faostat](http://www.fao.org/faostat)
- 📖 Fernández S. J., Gómez R. y Carmona M. A., (1993). Water activity in selected high – moisture foods. Journal of food composition and analysis: 6 p. 364 – 369.
- 📖 Flores G. A., (2000). Manejo postcosecha de frutas y hortalizas en venezuela. UNILLEZ, Venezuela, pp. 224.
- 📖 Gallegos G. D. Y Hosannilla S. F., (1997). Manejo de cosecha y postcosecha para la comercialización de frutas y hortalizas en fresco, tesis, ingeniería en alimentos FES – UNAM, México, pp. 139.
- 📖 García P. L. G., Reyes A. J. A., Aguirre R. J. R. y Pinos R. J. M., (2005). Preliminary nutritional and organoleptic assessment of xoconostle fruit (*opuntia* spp.) as a condiment or appetizer. Italian journal of food science: 17 p. 333 – 340.
- 📖 Garza M. (2006). Conductividad eléctrica. Disponible en: [www.ucdavis/2687electricalconductivitymeasurement/4%&?6-45.html](http://www.ucdavis/2687electricalconductivitymeasurement/4%&?6-45.html)
- 📖 González C. (2002). Pigmentos fotosintéticos. Disponible en: [www.alipso.com/monografias/2014pigmentosfotosinteticos/](http://www.alipso.com/monografias/2014pigmentosfotosinteticos/)
- 📖 Granados S.D., (1996). El nopal. historia, genética e importancia frutícula, Trillas, México, pp. 104-105 y 116 - 118.
- 📖 Grigeldo N. M. y Belloso O. M., (1999). Influence of fruit dietary fibre addition on physical and sensorial properties of strawberry jams. Journal of food engineering: 41 p. 13 – 21.
- 📖 Hernández R. I., Markwell J. y Namuth D., (2000). Introducción a los pigmentos vegetales y la fotosíntesis, en learn about the science venid crop technology topics. Disponible en: [www.croptechology.unl.edu](http://www.croptechology.unl.edu)
- 📖 Hernández F.V.H. y Flores V.C.A., (2004). Producción y comercialización de xoconostle en la región de las pirámides, estado de México. En: Memoria del X congreso nacional, VIII internacional sobre el conocimiento y aprovechamiento del nopal y otras cactáceas de valor económico y del 5<sup>to</sup> congreso internacional de tuna y cochinilla. C. Flores V. (Ed.). Edición en CD. Universidad Autónoma Chapingo, Fondo de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y ISHS. Chapingo, Estado de México.
- 📖 Hobson G. E., (1993). Maduración del fruto en: fisiología y bioquímica vegetal, Azcon – Bieto Ed.,Mc - Graw Hill internacional, España, pp. 463 – 478.
- 📖 Jha S.N. , Chopra S. y Kingsly A.R.P., (2005). Modeling of color values for nondestructive evaluation of maturity of mango. Journal of food engineering: Article in press pp. 5.

- Janzen D.H., (1986). Chihuahuan Desert nopaleras: Defaunated big mammal vegetation. *Ann. Rev. Ecol. Sys.* :17 pp. 595.
- Kubilay V., Hasim K. y Serkan S., (2006). A study on some chemical and physico-mechanic properties of three sweet cherry varieties (*Prunus avium* L.) in Turkey. *Journal of food engineering*: 74 p. 568–575.
- Kudachikar V. B., Kulkarni S. G., Aradhya S. M., Aravinda P. B. y romana K. V. R., (2003). Physico – chemical changes in mango (*mangífera indica* L.)varietes alphonso and raspuri during fruti development and maturation. *Journal of food science and technology*: 40 p. 285 – 289.
- Lees R. (1982), *Análisis de los alimentos. métodos analíticos y de control de calidad* 2<sup>da</sup> Ed., Acribia. España p.p. 181-182.
- Lewis (1993), *Propiedades físicas de los alimentos*. Acribia. España p.p. 298.
- López A. M. y Bravo H. H, (1977). *Las cactáceas de México*, 2<sup>a</sup> Ed. UNAM, México, pp.331.
- López D. M., A. López J., C. Pérez M. y P. Cruz H., (1999). Respuesta del nopal (*opuntia ficus-indica*) a la fertilización de NPK mediante aspersión a los cladodios. En: *Memoria del V congreso nacional y III congreso internacional sobre conocimiento y aprovechamiento de el Nopal*. 11-15 de agosto. Chapingo, Edo. De Méx., p. 32.
- Manual de AquaLab Modelo CX – 2 Disponible en: <http://www.decagon.com/aqualab/>
- Manual de colorímetro Minolta modelo CR – 300.
- Martínez M., (1979), *Catálogo de nombres vulgares y científicos de plantas mexicanas*. Fondo de Cultura Económica, México, p.948-XV.
- Martínez Navarrete Nuria Et al. , (1998). *Termodinámica y cinética de sistemas alimento entorno*, Universidad politécnica de Valencia, España, pp. 371.
- Mc Guire R. G., (1992). Reporting of objective color measurements. *Hort science*: 27, p. 1254 – 1255.
- Montiel D., Olivares J. L., Zavaleta P. y Álvarez S., (2001). Presencia de nematodos del género *cactodera* en xoconostle (*opuntia matudae* y *opuntia joconostle*), en el estado de hidalgo, México. *Revista protección vegetal*:16 p.144-146.
- Montoya M. M., López R. V. y De La Plaza J. L., (1994) a). An improved technique for measuring the electrical conductivity of intact fruits. *Lebensm wiss technology*: 27 p. 29 – 33.
- Montoya M. M., De La Plaza J. L. y López R. V., (1994) b). Electrical conductivity of avocado fruits during cold storage and ripening. *Lebensm wiss technology*: 27 p. 34 – 38.
- Montoya M. M., De La Plaza J. L. y López R. V., (1994) c). Relationship between changes in electrical conductivity and ethylene production in avocado fruits. *Lebensm wiss technology*: 27 p. 482 – 486.
- Norma Mexicana. NMX – FF – 007 – 1982. *Productos alimenticios para uso humano – fruta fresca – determinación de rendimiento*. Secretaría de comercio y fomento industrial.
- Norma Mexicana NMX – FF – 9 – 1982. *Productos alimenticios, para uso humano – fruta fresca – determinación del tamaño en base al diámetro ecuatorial*. secretaria de comercio y fomento industrial.
- Norma Oficial Mexicana NOM – 086 – SSA – 1994. *Bienes y servicios. alimentos y bebidas no alcohólicas con modificaciones en su composición, especificaciones nutrimentales. determinación de reductores directos y totales*. Secretaría de salud.

- 📖 Olivares O. J. y Chimal, H. A., (1992). Xoconostle. observaciones preelminares acerca de su presencia en la región de huichapan, hgo. 5o. congreso nacional. 3o. congreso internacional. memorias, Chapingo, Méx. p.14.
- 📖 Pantastico E. R. B., (1987). Fisiología de la postrecolección, manejo y utilización de frutas y hortalizas tropicales y subtropicales, CECOSA, México, pp. 663.
- 📖 Pearson D., (1998). Técnicas de laboratorio para el análisis de alimentos, Acribia. España p. 74-77.
- 📖 Planella J., (1987). Tecnología del manejo postcosecha de frutas y hortalizas, IICA, Colombia, pp. 331.
- 📖 Primo Y. E., (1998). Química de los alimentos, Síntesis S. A., España, pp. 461.
- 📖 Quintín O. J., (1983). Tablas de valores nutritivos para cálculos dietéticos. recopilación y cálculos dietéticos. Méndez editores. México, p. 20.
- 📖 Reid D., (2006). Why is water activity important. Disponible en:  
<http://www.wateractivity.org/theory.html>
- 📖 Reyes A. J. A., Aguirre R. J. R. y Valiente B. A., (2006). Reproductive biology of *opuntia*: a review, J. Arid Environments: 64. p. 549 – 585.
- 📖 Reyes A. J. A., Aguirre R. J. R., Carlín C. F. y González D. A., (2005). Instituto de Investigación de Zonas Desérticas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Disponible en:  
[www.altavista.com/zonasdeserticas/uaslp-435%&.htm](http://www.altavista.com/zonasdeserticas/uaslp-435%&.htm)
- 📖 Roe B. y Bruemmer J. H., (1981). Changes in pectic substances and enzymes during ripening and storage of keitt mangoes. Journal of food science: 46, p. 186 – 189.
- 📖 Romero H. H., (2005). Como medimos la conductividad eléctrica en los alimentos. Disponible en:  
[www.google.com.mx/monografías/conductividadelectrica.html](http://www.google.com.mx/monografías/conductividadelectrica.html)
- 📖 Rossenthal A. J., (2001). Textura de los alimentos. medida y percepción, Acribia. España p. 299.
- 📖 Sablani S.S., Kasapis S. y Rahman M.S., (2005). Evaluating water activity and glass transition concepts for food stability. Journal of food engineering: Article in press pp. 6.
- 📖 Sahagún F. B., (1989). Historia general de las cosas de la nueva españa, Comisión Nacional para la Cultura y las Artes y Alianza Editorial Mexicana, México Distrito Federal p. 42 – 45.
- 📖 Sánchez M.H., (1982). Algunos usos prehispánicos de las cactáceas entre los indígenas de México, Gobierno del Estado de México, Metepec, Estado de México, pp. 67.
- 📖 Sánchez V. G. y B. Figueroa S., (1988). Estudio preliminar sobre distribución y variabilidad de o. *joconostle* weber, en el estado de zacatecas. En: Memoria de la III reunión nacional y I reunión internacional. El Nopal. 10-14 de octubre. Saltillo, Coah. México, p. 67-72.
- 📖 Sánchez V.G. y Ortega D.M.L., (1996). Componentes químicos durante la maduración del fruto de *opuntia joconostle* weber forma cuaresmero. Agrociencia :30 p.541.
- 📖 Sandoval D. M. y Hernández P. R. (2003). Caracterización de guanábana postcosecha (*annona muricata* L.) durante su maduración a temperatura ambiente. Tesis, Ingeniería en alimentos, UNAM, México, pp. 92.
- 📖 Scheinvar, L., (1982). La familia de las cactáceas en el valle de México. Tesis, Doctor en Biología, UNAM, México. pp. 31, 485 y 493.

- 📖 Scheinvar L., (1999). Biosistemática de los xoconostles mexicanos y su potencial económico. En: Memoria del VIII congreso nacional y VI internacional sobre conocimiento y aprovechamiento de el Nopal. 6-10 de septiembre. San Luis Potosí, México, pp: 255-274.
- 📖 Sean C. C. M. y Gerard K. R. A., (2002). Fruit development and ripening in barbados cherry, *malpighia emarginata* DC. *Scientia horticulturae*: 92 p. 1–7.
- 📖 Selvaraj Y; Kumar, R. y Pal D. K., (1989). Changes in sugars, organic acids, amino acids, lipid constituents and aroma characteristics of ripening mango (*mangífera indica* l.) fruit. *Journal of food science and technology*: 26, p. 308 – 313.
- 📖 Sepúlveda E., Sáenz C. y Álvarez M., (2000). Physical, chemical and sensory characteristics of dried fruit sheets of cactus pear (*opuntia ficus indica*) and quince (*cydonia oblonga* mill.) *Italian Journal of Food Science*: 12 p. 47.
- 📖 SIAP / SAGARPA, (2005). Servicio de información y estadística agroalimentaria y pesquera. secretaria de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación. análisis de estacionalidad de la producción y precios en el mercado de productos hortifrutícolas y frijol. Disponible en: [www.siap.sagarpa.gob.mx/integra/agricola/estacionalidad/perennes/nopalitos.pdf](http://www.siap.sagarpa.gob.mx/integra/agricola/estacionalidad/perennes/nopalitos.pdf)
- 📖 Stintzing F.C., Schieber A. and Carle R., (2001). Phytochemical and nutritional significance of cactus pear. *European Food Research and Technology*: 212 p.396.
- 📖 Usenik V., Kastelec D. y Stampar F., (2005). Physicochemical changes of sweet cherry fruits related to application of gibberellic acid. *Food chemistry*: 90 p. 663–671.
- 📖 Van D. C., Boeriu C., Peter F., Stolle-Smits T. y Tijskens L.M.M., (2005). The firmness of stored tomatoes (cv. tradiro). 1. kinetic and near infrared models to describe firmness and moisture loss. *Journal of food engineering*: Article in press pp. 10.
- 📖 Viguera G. A. L. y Portillo L., (2001). Uses of *Opuntia* species and the potential impact of *Cactoblastiscactorum* (Lepidoptera: Pyralidae) in México. *Fla. Entomol.* :84 p. 493.
- 📖 Wills R.H.H., Mc Glasson W. B., Graham D., Lee T. H. Y may E. G. (1989). *Postharvest: an introduction to the physiology and handling of fruit and vegetables* 3<sup>rd</sup> Ed., Blackwell scientific publications, UK., pp. 176.

**ANEXOS**

## ANEXO 1. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

## 1) Parámetros físicos

## a) Porcentaje de pérdida de peso

Efecto	Suma de cuadrados SS	Grados de libertad	Cuadrado medio MS	F calculada	p - nivel
P. CORTE	493.833	1	493.833	30.923	0.000*
TIEMPO	1277.496	4	319.374	956.157	0.000*
TIEMPO * P. CORTE	41.439	4	10.360	31.016	0.000*

## b) Porcentaje de pérdida de diámetro longitudinal

Efecto	Suma de cuadrados SS	Grados de libertad	Cuadrado medio MS	F calculada	p - nivel
P. CORTE	17.127	1	17.127	0.950	0.343
TIEMPO	199.224	4	49.806	70.474	0.000*
TIEMPO * P. CORTE	27.812	4	6.953	9.838	0.000*

## c) Porcentaje de pérdida de diámetro ecuatorial

Efecto	Suma de cuadrados SS	Grados de libertad	Cuadrado medio MS	F calculada	p - nivel
P. CORTE	145.918	1	145.918	9.490	0.006*
TIEMPO	838.125	4	209.531	142.793	0.000*
TIEMPO * P. CORTE	24.876	4	6.219	4.238	0.004*

## d) Porcentaje de variación de la diferencia de color en cáscara

Efecto	Suma de cuadrados SS	Grados de libertad	Cuadrado medio MS	F calculada	p - nivel
P. CORTE	596.571	1	596.571	3.491	0.078
TIEMPO	122.534	4	30.634	39.829	0.000*
TIEMPO * P. CORTE	7.929	4	1.982	2.577	0.045*

## e) Textura zona 1

Efecto	Suma de cuadrados SS	Grados de libertad	Cuadrado medio MS	F calculada	p - nivel
P. CORTE	15594.264	5	3118.853	4.357	0.001*
TIEMPO	55502.500	1	55502.500	77.544	0.000*
TIEMPO * P. CORTE	6285.242	5	1257.048	1.756	0.125

## f) Textura zona 2

Efecto	Suma de cuadrados SS	Grados de libertad	Cuadrado medio MS	F calculada	P – nivel
P. CORTE	11406.358	5	2281.272	22.226	0.000*
TIEMPO	2049.669	1	2049.669	19.969	0.000*
TIEMPO * P. CORTE	5243.847	5	1048.769	10.218	0.000*

## g) Textura total

Efecto	Suma de cuadrados SS	Grados de libertad	Cuadrado medio MS	F calculada	p – nivel
P. CORTE	51273.206	5	10254.641	11.352	0.000*
TIEMPO	78884.003	1	78884.003	87.322	0.000*
TIEMPO * P. CORTE	20400.672	5	4080.134	4.517	0.001*



## ANEXO 2. MODELOS MATEMÁTICOS DE LOS PARÁMETROS ANALIZADOS DURANTE ESTE ESTUDIO

Parámetro	X. VERDE		X. SEMIMADURO	
<b>FISICOS</b>				
Pérdida de peso (%)	MODELO	$y = -0.065x^2 + 2.201x + 0.4874$	MODELO	$y = -0.0469x^2 + 1.5456x + 0.2067$
	R <sup>2</sup>	0.9938	R <sup>2</sup>	0.9977
Pérdida diámetro ecuatorial (%)	MODELO	$y = 0.8065x + 0.3839$	MODELO	$y = 0.5914x - 0.0157$
	R <sup>2</sup>	0.9952	R <sup>2</sup>	0.9757
Pérdida diámetro longitudinal (%)	MODELO	$y = 0.4514x + 0.0108$	MODELO	$y = 0.2749x + 0.6445$
	R <sup>2</sup>	0.9857	R <sup>2</sup>	0.9313
Diferencia de color ( $\Delta E$ )	MODELO	$y = -0.0235x^2 + 0.6189x + 52.851$	MODELO	$y = -0.0048x^2 + 0.2164x + 62.372$
	R <sup>2</sup>	0.953	R <sup>2</sup>	0.9935
Firmeza ZONA 1 (1/10mm)	MODELO	$y = 2.4295x + 61.462$	MODELO	$y = 1.011x + 34.851$
	R <sup>2</sup>	0.6329	R <sup>2</sup>	0.9369
Firmeza ZONA 2 (1/10mm)	MODELO	$y = 2.531x + 3.6595$	MODELO	$y = 0.5717x + 11.198$
	R <sup>2</sup>	0.8439	R <sup>2</sup>	0.967
Firmeza Total (1/10mm)	MODELO	$y = 4.9605x + 65.121$	MODELO	$y = 1.5824x + 46.049$
	R <sup>2</sup>	0.7796	R <sup>2</sup>	0.9755
Sólidos solubles ( $^{\circ}$ Brix)	MODELO	$y = 0.0093x^2 - 0.0418x + 3.4607$	MODELO	$y = 0.0724x + 4.8238$
	R <sup>2</sup>	0.9835	R <sup>2</sup>	0.967
<b>FISICOQUIMICOS</b>				
pH	MODELO	$y = 0.0071x^2 - 0.0466x + 3.3032$	MODELO	$y = 0.0238x + 4.0148$
	R <sup>2</sup>	0.8991	R <sup>2</sup>	0.9754
Acidez (%)	MODELO	$y = -0.0677x + 2.3795$	MODELO	$y = -0.0138x + 1.7707$
	R <sup>2</sup>	0.9792	R <sup>2</sup>	0.9121
Índice de madurez (SST/Ac)	MODELO	$y = 0.0125x^2 - 0.0434x + 1.5286$	MODELO	$y = 0.0703x + 2.7068$
	R <sup>2</sup>	0.9886	R <sup>2</sup>	0.9802
<b>QUIMICOS</b>				
Humedad (%) Estufa de aire	MODELO	$y = -0.0696x + 94.082$	MODELO	$y = -0.0813x + 92.179$
	R <sup>2</sup>	0.8671	R <sup>2</sup>	0.9745
Humedad (%) Analizador humedad	MODELO	$y = -0.0418x + 85.655$	MODELO	$y = -0.0409x + 83.421$
	R <sup>2</sup>	0.9767	R <sup>2</sup>	0.9834
ARD (%)	MODELO	$y = 0.0179x + 0.939$	MODELO	$y = 0.0269x + 1.2461$
	R <sup>2</sup>	0.8351	R <sup>2</sup>	0.9854
ART (%)	MODELO	$y = 0.0225x + 1.0813$	MODELO	$y = 0.0286x + 1.3376$
	R <sup>2</sup>	0.9252	R <sup>2</sup>	0.9731
Pectina (%)	MODELO	$y = -0.003x + 2.041$	MODELO	$y = -0.0095x + 2.0152$
	R <sup>2</sup>	0.8971	R <sup>2</sup>	0.9684
<b>TERMODINÁMICOS</b>				
Actividad de agua (Aw)	MODELO	$y = 0.0004x + 0.9845$	MODELO	$y = 0.0008x + 0.9702$
	R <sup>2</sup>	0.9387	R <sup>2</sup>	0.976
Conductividad eléctrica (mS/m)	MODELO	$y = -0.1x^2 + 0.2786x + 7.1521$	MODELO	$y = -0.0184x^2 + 0.3812x + 7.5804$
	R <sup>2</sup>	0.9398	R <sup>2</sup>	0.9694
<b>FISIOLÓGICO</b>				
Índice respiratorio (mgCO <sub>2</sub> /Kg h)	MODELO	$Y = -0.1238x + 40.974$	MODELO	$y = -2.3047x^2 + 12.951x + 36.502$
	R <sup>2</sup>	0.0349	R <sup>2</sup>	0.7655

## ANEXO 3. RESULTADOS OBTENIDOS A LO LARGO DE LA EXPERIMENTACIÓN

PARÁMETRO	XOCONOSTLE VERDE						XOCONOSTLE SEMIMADURO					
	TIEMPO (Días)						TIEMPO (Días)					
	0	3	6	9	12	15	0	3	6	9	12	15
% Pérdida de peso	0	7.4058	11.4052	14.3510	17.5864	19.0529	0	4.7857	7.8502	10.0269	11.9874	12.9289
% Pérdida diámetro ecuatorial	0	3.2127	5.3145	7.5061	10.3440	12.2201	0	1.8927	3.7403	5.1303	6.1949	9.5596
% Pérdida de diámetro longitudinal	0	1.1487	2.6627	4.6729	5.3151	6.5768	0	1.9766	2.5856	3.3035	3.8919	4.4803
Diferencia de color ( $\Delta E$ )	52.524	55.017	55.864	56.221	56.608	57.102	62.3168	63.0733	63.4929	63.9226	64.1891	64.5794
% Variación de $\Delta E$	0	5.1108	6.8370	7.5122	8.2475	9.1981	0	1.2515	1.9313	2.6034	3.0324	3.6621
Textura (1/10mm)	80.85	67.7	87.8	95.3	145.4	136.9	45.1	52.8	54.5	61.025	63.425	70.65
Sólidos solubles ( $^{\circ}$ Brix)	3.4	3.5	3.6	3.8	4.2	5.0	4.8	5.0	5.3	5.6	5.6	5.9
PH	3.22	3.31	3.42	3.38	3.6	4.32	4.02	4.09	4.17	4.20	4.28	4.40
% Acidez	2.3428	2.1398	2.0792	1.7772	1.5642	1.3264	1.7467	1.7453	1.7235	1.6328	1.5827	1.5732
Índice de madurez (IM)	1.451	1.636	1.731	2.138	2.685	3.770	2.748	2.865	3.075	3.430	3.538	3.750
Actividad de agua (Aw)	0.984	0.986	0.987	0.988	0.988	0.990	0.971	0.972	0.975	0.977	0.979	0.983
Conductividad eléctrica (mS/m)	7.24	7.80	8.40	8.74	9.40	8.90	7.68	8.38	9.24	9.48	9.68	9.05
% Humedad estufa	94.008	93.952	93.856	93.277	93.153	93.149	92.228	91.9015	91.6662	91.3657	91.327	90.9252
% Humedad analizador	85.69	85.54	85.36	85.24	85.15	85.07	83.44	83.27	83.17	83.05	82.98	82.78
% ARD	0.9876	0.9926	0.9975	1.0423	1.1741	1.2458	1.2413	1.3274	1.3942	1.5243	1.5575	1.6421
% ART	1.1238	1.1291	1.1523	1.2842	1.3668	1.4327	1.3743	1.3891	1.4829	1.6112	1.6787	1.7748
% Pectina	2.04	2.04	2.02	2.01	2.00	2.00	2.01 <sub>p</sub> 2.16 <sub>c</sub>	2.00 <sub>p</sub> 2.11 <sub>c</sub>	1.97 <sub>p</sub> 2.06 <sub>c</sub>	1.91 <sub>p</sub> 2.05 <sub>c</sub>	1.90 <sub>p</sub> 2.00 <sub>c</sub>	1.88 <sub>p</sub> 2.00 <sub>c</sub>

c = pectina en cáscara  
p = pectina en pulpa

TIEMPO (Hrs)	ÍNDICE RESPIRATORIO mgCO <sub>2</sub> /Kg h	
	XOCONOSTLE VERDE	XOCONOSTLE SEMIMADURO
10:00	16.78	15.78
11:30	44.49	30.93
13:00	36.03	14.56
14:30	37.82	23.57
16:00	39.43	20.37

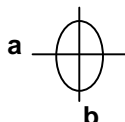
TIEMPO (Días)	ÍNDICE RESPIRATORIO mgCO <sub>2</sub> /Kg h	
	XOCONOSTLE VERDE	XOCONOSTLE SEMIMADURO
0	44.495	36.465
1	-	44.64
2	-	55.285
3	35.125	61.86
4	-	42.75
5	-	-
6	38.55	33.125
9	43.56	32.3
12	41.44	31
15	37.105	29.9

---

---

**ANEXO 4. TÉCNICAS DE ANÁLISIS UTILIZADAS****PRUEBAS FÍSICAS****Determinación de tamaño**

Cuando se determina el tamaño con un calibrador Vernier o Pié de Rey se medirá la fruta por su diámetro longitudinal y ecuatorial tomándose la lectura directamente en la escala del “vernier”.



- a) Diámetro ecuatorial
- b) Diámetro longitudinal

Los resultados deben expresarse en cm en ambos casos. El resultado final será la media aritmética de las determinaciones.

**Determinación de rendimiento**

**Rendimiento.** Es la cantidad que, del total de la fruta, se puede consumir en estado fresco.

El método se basa en la determinación del peso de la parte comestible de una fruta, relacionándolo con la fruta entera.

**Material y equipo**

- Balanza granataria con resolución de 0.1 g
- Cuchillo, navaja o cascanueces
- Material común de laboratorio

**Procedimiento**

- 1) Lavar y secar la muestra
- 2) Pesar la muestra
- 3) Separar las proporciones no comestibles de la muestra
- 4) Pesar la porción comestible
- 5) Realizar al menos dos determinaciones de muestras obtenidas del mismo lote.

Los resultados se expresan en % de rendimiento, usando la siguiente fórmula

$$\text{Rendimiento \%} = W1 / W2$$

**W1** = Masa de la porción comestible en gramos

**W2** = Masa de la muestra entera en gramos

El resultado final será la media aritmética de las determinaciones realizadas.

**Determinación de color**

En la prueba de color se utilizó un colorímetro Minolta CR – 300 como el que se observa en la figura 22.

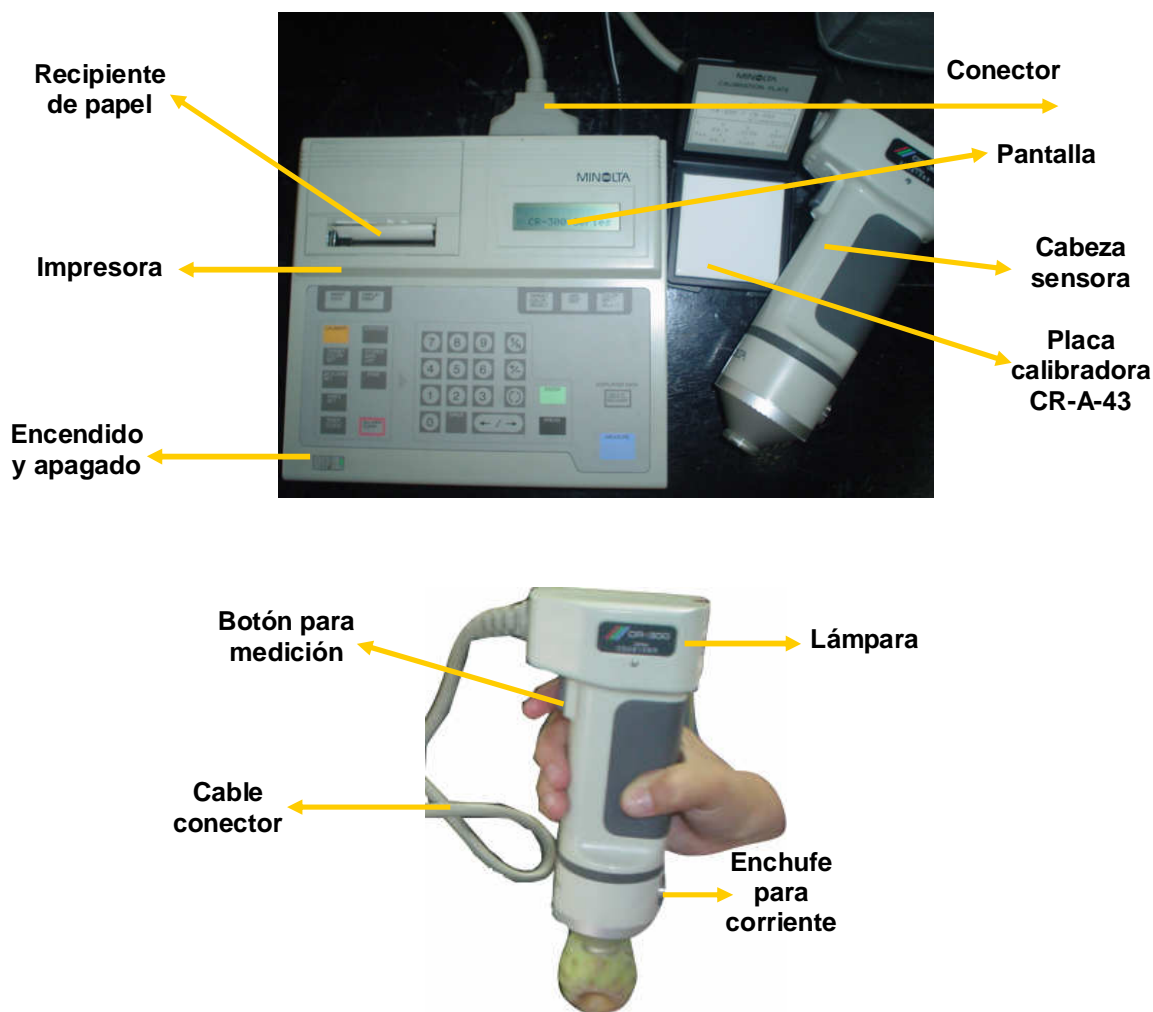


FIGURA 22. Componentes del colorímetro Minolta CR - 300

La medición se realizó directamente sobre la piel del xoconostle.

El colorímetro es calibrado previamente con la placa CR – A – 43, que tiene los valores de  $Y= 97.7$ ,  $x= 0.3136$ ,  $y= 0.3210$ , las mediciones obtenidas fueron Luminosidad (L) y las coordenadas  $a^*$  y  $b^*$ .

### Determinación de la textura

**Fundamento:** Éste método se basa en la medición del esfuerzo necesario para vencer la resistencia que presenta la pulpa a la introducción de un émbolo de metal.

#### Material y equipo:

Penetrómetro Humboldt

La textura de los frutos se medirá mediante la prueba de penetración, para ello se utilizará un penetrómetro Norridge 60655, marca Humboldt, con una varilla cilíndrica de acero inoxidable de 3.2 mm.

**Descripción:** Es un equipo sencillo para medir la distancia a la que un cono o varilla penetra en un alimento a un determinado tiempo. En su forma más simple el cono se coloca sobre la superficie del alimento y se descarga durante un tiempo determinado. Al final de dicho tiempo el cono se fija con una mordaza y se mide la profundidad de penetración con una escala. Figura 23.

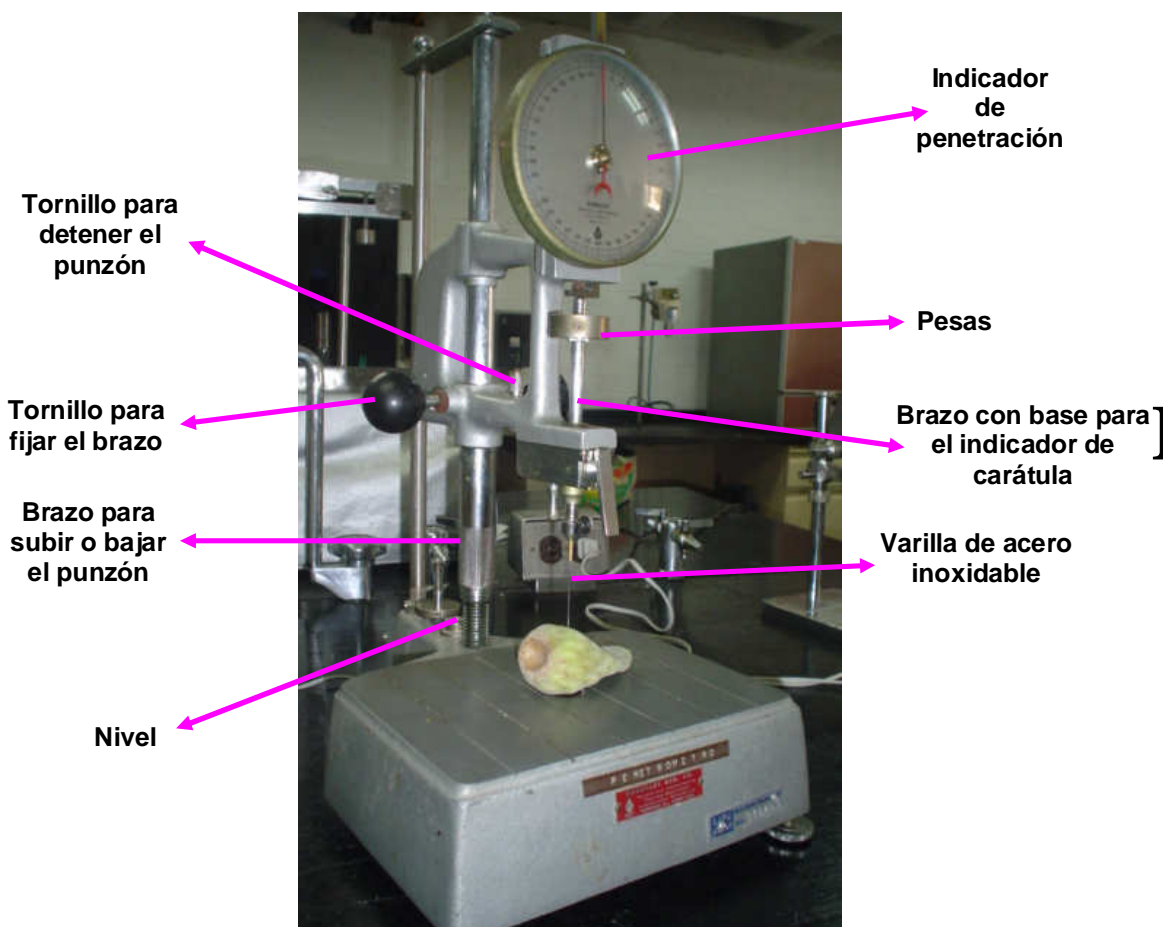


FIGURA 23.. Esquema del penetrómetro Humboldt.

La profundidad de penetración dependerá del peso del cono y del ángulo, del tipo de material, su temperatura y el tiempo de penetración.

Los datos se reportan en 1/10 mm que es la precisión que posee el equipo.

### NOMBRE QUÍMICO

Acidez

### PROCEDIMIENTO

- 1) Pesar una cantidad de muestra suficiente para que la titulación sea satisfactoria (que consuma al menos varios ml de sosa caústica). La cantidad puede oscilar entre 10 y 50 g.
- 2) Añadir 40 ml de agua destilada o, si la muestra no es soluble en agua agregar 50 ml de alcohol neutralizado.
- 3) Si la muestra posee color agregar de 0.2 a 0.3 g de carbón activado, calentar a 50 °C durante unos minutos y filtrar.
- 4) Titular con NaOH 0.1 N utilizando fenolftaleína como indicador.
- 5) Cuando se aproxime al punto final añadir la solución caústica gota a gota cerciorándose que el color final no desaparece.

### CÁLCULOS

$$\% \text{ Acidez} = (\text{ml gastados} * \text{normalidad de NaOH} * \text{meq de ácido cítrico}) / \text{g de muestra} * 100$$

**NOMBRE QUÍMICO**

pH

**PROCEDIMIENTO**

- 1) Encender el potenciómetro y calibrarlo de manera que el aparato mida 3.55 a 20 °C, 3.56 a 25 °C ó 3.55 a 30 °C, con una disolución acuosa saturada de bitartrato de potasio recién preparada.
- 2) Limpiar el electrodo con agua.
- 3) Pesar 10 g de muestra, añadir 40 ml de agua y filtrar.
- 4) Introducir el electrodo en una alícuota de la muestra, determinar la temperatura y leer el pH con una aproximación de 0.01 unidades.

**NOMBRE QUÍMICO**

Sólidos solubles

**PROCEDIMIENTO**

- 1) Hacer circular agua a 20 °C a través de los prismas del refractómetro.
- 2) Comprobar que el índice de refracción del agua destilada es 1.3330 haciendo las modificaciones necesarias (0° Brix).
- 3) Extender la muestra entre los prismas perfectamente secos y leer el índice de refracción.
- 4) Realizar por triplicado la prueba.

**NOMBRE QUÍMICO**

Humedad

**MÉTODO O TÉCNICA**

Método de la estufa de aire

La determinación del contenido de humedad es uno de los más importantes y ampliamente usados, medidos en el procesado y control de los alimentos, ya que el agua influye en la creación de microorganismos que dañan el fruto.

La técnica es aplicable a alimentos que contienen compuestos susceptibles a descomposición a 100 °C, así como volátiles distintos de agua. Tiene mayor eficacia en alimentos frescos de alto contenido de humedad.

**PRINCIPIO O FUNDAMENTO**

La muestra es desecada a peso constante en una estufa de aire, la muestra se pesa antes y después de ser desecada con la finalidad de encontrar el porcentaje en peso de agua en la muestra

**EQUIPO Y REACTIVOS**

- Estufa a temperatura de 60 °C
- Cápsulas de níquel, acero inoxidable o porcelana
- Desecador conteniendo: peróxido de fósforo seco y cloruro cálcico seco o sílica gel granular seca.

**PROCEDIMIENTO**

- 1) Pesar la cápsula vacía.
- 2) Mezclar perfectamente la muestra preparada y transferir 5 g a la cápsula. Colocar la tapa y pesar la cápsula con su contenido tan rápido como sea posible.
- 3) Quitar la tapa y colocar la cápsula y tapa en la estufa evitando el contacto de la cápsula con paredes. Desecar durante unas 6 hrs. Si no se descompone durante largos períodos es permisible la desecación en la noche durante 10 hrs.
- 4) Retirar las cápsulas de la estufa, colocar la tapa, enfriar en un desecador y volver a pesar una vez enfriada.
- 5) Desecar durante una hora adicional para comprobar que se acaba el proceso y se alcance el peso constante.

**CÁLCULOS****Humedad % =  $(W2 / W1) * 100$** **Sólidos totales % =  $(W3 / W1) * 100$**

Donde:

**W1** = Peso (g) de la muestra

**W2** = Pérdida de peso (g)

**W3** = Peso (g) de la muestra desecada

### MÉTODO O TÉCNICA

Trampa de Bidwell – Sterling

### PRINCIPIO O FUNDAMENTO

Los métodos de destilación directa implican la destilación o reflujo de los alimentos con un líquido inmiscible con agua, menos denso que ella y normalmente con un punto de ebullición más elevado, por ejemplo: tolueno (p. Eb. 110 °C) o xileno (p. Eb. 140 °C). El aparato se diseña de manera que el agua y el líquido inmiscible se volatilice en el matraz, se condensen y caigan en el colector.

### EQUIPO Y REACTIVOS

- Aparato para la determinación de humedad en alimentos por destilación directa.

### PROCEDIMIENTO

- 1) Se limpia cuidadosamente el aparato con mezcla crómica, se enjuaga y se seca.
- 2) Se pesa la muestra en un papel aluminio (Ej 5 g) y se envuelve el papel introduciéndose en un matraz seco.
- 3) El matraz se llena hasta la mitad con tolueno y se ensamblan el refrigerante y el colector.
- 4) Se hierve el líquido calentando un matraz con una manta eléctrica hasta que no aumente más el volumen de agua separada en el colector.
- 5) Si en el condensador quedasen algunas gotitas se bajan en la parte inferior del tubo graduado con ayuda en un alambre largo y duro.

### CÁLCULOS

Se mide el volumen total de agua en la parte graduada y se procede a realizar el cálculo

$$\text{Humedad \%} = (V / W) * 100$$

Donde:

**V** = Volumen de agua recolectado

**W** = Peso de la muestra (g)

### MÉTODO O TÉCNICA

Analizador de humedad halógeno

Marca OHAUS modelo MB 45

### PRINCIPIO O FUNDAMENTO

El aparato funciona sobre la base del principio termogravimétrico: al comienzo de la medida, el analizador de humedad determina el peso de la muestra, a continuación, la muestra se calienta rápidamente por medio de la unidad halógena desecadora y la humedad se evapora. Durante la operación de desecación, el equipo determina continuamente el peso de la muestra y presenta el resultado.

### EQUIPO Y REACTIVOS

- Analizador de humedad halógeno
- Platillo para analizador
- Papel filtro
- Espátula

### PROCEDIMIENTO

- 1) Se enciende el equipo con el botón On – Off y se programa:
  - Oprimir el botón test menú y seleccionar modo de prueba dar enter, seleccionar un nombre para el programa, se inserta moviendo las flechas y oprimiendo enter cuando se esté de acuerdo con la instrucción dada.



- Con las flechas se ingresa al menú de paso a paso y en este punto se establecen las condiciones necesarias para el funcionamiento de la termobalanza. Para el caso del xoconostle se eligieron las siguientes:
    - Paso 1: T = 200 °C t = 7 min
    - Paso 2: T = 150 °C t = 3 min
    - Paso final :T = 120 °C hasta el equilibrio
  - Se da enter y se salva el programa; el equipo pregunta si se guardará en la librería y le asigna un número. De esta manera el equipo queda programado y listo para utilizarse.
- 2) Una vez listo se coloca el platillo vacío en el asidero porta – platillo, posteriormente coloque el asidero en la cámara de muestras. Se debe asegurar que la lengüeta del asidero encaje exactamente en la ranura de la pantalla de difusión calorífica. El platillo debe estar totalmente plano en el soporte.
  - 3) En la pantalla se muestran las instrucciones para procesar la muestra.
  - 4) Pulsar el botón tare. Esto permite poner en cero el analizador de humedad.
  - 5) Introducir la muestra, en este caso se emplearon 5 g.
  - 6) Oprimir el botón start/stop. El analizador de humedad comenzará el proceso de desecación y medición. Todos los valores definidos en el menú a modo de prueba entrarán en vigor.
  - 7) Cuando la medición de la prueba haya concluido, retirar la muestra del equipo. Para ello, es necesario abrir la tapa y levantar con cuidado el asidero porta – platillos para sacarlo de la cámara.

## CÁLCULOS

El equipo automáticamente registra los siguientes datos:

**% Humedad**

**% Sólidos**

**% Regain (Recuperado)**

**Gramos de muestra sobrantes (Materia seca)**

**Tiempo de prueba**



**FIGURA 24.** Esquema de analizador de humedad MB-45

## NOMBRE QUÍMICO

Proteína

## MÉTODO O TÉCNICA

Micro – Kjeldahl

**REACTIVOS**

- a) Ácido sulfúrico – gravedad específica 1.84 libre de N<sub>2</sub>
- b) Catalizador de cobre – K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HgO y CuSO<sub>4</sub>.
- c) Sulfato de potasio libre de nitrógeno
- d) Solución de hidróxido de sodio – tiosulfato de sodio – Disuelva 60 g de NaOH y 5 g Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 5 H<sub>2</sub>O en agua y diluir a 100 ml.
- e) Solución de ácido bórico al 4%.
- f) Solución indicadora – (1) Rojo de metilo – azul de metileno. Mezclar dos partes de solución alcohólica de rojo de metilo al 0.2% con una parte de solución alcohólica de azul de metileno al 0.2%.
- g) Ácido Clorhídrico – 0.02 N.

**APARATOS**

- Digestor
- Aparato de destilación
- Matraz de digestión (30 ml)

**PROCEDIMIENTO**

- 1) Pesar una porción de prueba que corresponda a un gasto de 3 – 10 ml de HCl al 0.02 N y agregar al MATRA de Kjeldahl (30 ml). Si el peso de la muestra es mayor de 10 mg usar una balanza microquímica (peso máximo 100 mg de materia orgánica seca).
- 2) Agregar 1.9 +/- 0.1 de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 40 +/- 10 mg HgO y 2.0 +/- 0.1 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, por cada 10 mg de materia orgánica seca mayor a 15 mg añadir 0.1 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.
- 3) Hervir en el digestor hasta que la muestra se encuentre transparente.
- 4) Enfriar y añadir un volumen mínimo de agua para disolver los sólidos.
- 5) Transferir la muestra al aparato de destilación y enjuagar el matraz 5 – 6 veces con 1 – 2 ml de agua. Colocar un receptor de precipitado o un matraz Erlenmeyer que contenga 10 ml de ácido bórico y 2 – 4 gotas de indicador debajo del condensador para recibir la solución del destilador.
- 6) Agregar 10 ml de la solución NaOH – Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, recolectar el destilado hasta 50 ml.
- 7) Titular con HCl hasta el punto de vire. Realizar una determinación en blanco y calcular.

**CÁLCULOS**

$$N = ((\text{ml HCl} - \text{ml blancos}) * \text{molaridad HCl} * 14.007) / (\text{mg de muestra}) * 100$$

$$\%P = N * \text{Factor proteico}$$

**NOMBRE QUÍMICO**

Grasa

**MÉTODO O TÉCNICA**

Soxhlet

**PRINCIPIO O FUNDAMENTO**

La técnica se fundamenta en la extracción de grasa a través de un solvente orgánico.

**EQUIPO Y REACTIVOS**

- Aparato Soxlet
- Matraz bola
- Cartucho de extracción
- Éter de petróleo o hexano

**PROCEDIMIENTO**

- 1) Pesar directamente en un cartucho de extracción 5 g de muestra pulverulenta y tapar la boca del cartucho con lana de algodón exenta de grasa. Colocar el cartucho y su contenido en la cámara central con sifón del aparato de Soxhlet.
- 2) Sacar de la estufa de desecación un matraz de 250 ml y después de enfriarlo en el desecador pesarlo.
- 3) Colocar 125 – 130 ml de solvente en el matraz bola y adaptarlo al aparato Soxhlet.

- 4) Extraer a reflujo durante 3 – 5 hrs.
- 5) Destilar el hexano y colocar el matraz y su contenido en el desecador y después de enfriar pesar.
- 6) Volver a colocar el matraz y su contenido en la estufa y pasando 30 min comprobar que no ha perdido peso.

## CÁLCULOS

$$\text{Grasa \%} = ((W2 - W1) / W3) * 100$$

**W1** = Peso (g) de matraz sin grasa

**W2** = Peso (g) de matraz con grasa

**W3** = Peso (g) de la muestra

## NOMBRE QUÍMICO

Carbohidratos

## MÉTODO O TÉCNICA

Método volumétrico de Lane – Eynon

## PRINCIPIO O FUNDAMENTO

Esta técnica puede aplicarse a todos los alimentos.

Se determina el volumen de azúcar que se necesita para reducir 10 o 25 ml de disolución de Fehling en presencia de azul de metileno como indicador interno.

## EQUIPO Y REACTIVOS

- Bureta de 50 ml
- Pinzas para soporte
- Soporte universal
- Matraz Erlenmeyer de 250 ml
- Azul de metileno
- Disolución de Fehling
- Acetato de Zinc
- Ferrocianuro de potasio
- Sacarosa
- Parrilla eléctrica
- Material común de laboratorio

## PREPARACIÓN DE SOLUCIONES

**Acetato de zinc.** Disolver 21.9 g de acetato de zinc (Cristalino) y 3 ml de ácido acético glacial en agua y diluir a 100 ml.

**Ferrocianuro de potasio.** Disolver 10.6 g de ferrocianuro de potasio en 100 ml de agua destilada.

**Solución (A).** De sulfato de cobre. Disolver 34.639 g de sulfato de cobre pentahidratado en agua destilada y diluir a 500 ml, utilizando un matraz volumétrico de 500 ml, filtrar a través de papel filtro Whatman No 4 o equivalente.

**Solución (B).** De tartrato de sodio y potasio. Disolver 173 g de tartrato de sodio y potasio y 50 g de hidróxido de sodio en agua y diluir a 500 ml, dejar reposar 2 días y filtrar a través de papel filtro Whatman No 4 o equivalente.

**Azul de metileno.** Disolver 0.2 g de azul de metileno en 100 ml de agua.

## Titulación de la solución A – B

Medir con una pipeta volumétrica 5 ml de solución A y 5 ml de solución B en un matraz erlenmeyer de 500 ml. Agregar 100 ml de agua y calentar en la parrilla eléctrica a ebullición; agregar poco a poco con una bureta solución patrón de sacarosa hasta la casi reducción total del cobre.

Añadir 1 ml de azul de metileno y continuar la titulación hasta la desaparición del color azul.

Calcular los mg de sacarosa que se necesitan para titular la solución A – B. Este factor corresponde al factor f del reactivo.

#### PROCEDIMIENTO ARD

- 1) Pesar 50 g de muestra homogénea en un vaso de precipitados de 50 ml.
- 2) Transferir cuantitativamente con 200 ml de agua destilada caliente (40 – 50° C) a un matraz volumétrico de 250 ml, mezclar y dejar reposar 30 min.
- 3) Agregar 4 ml de solución de ferrocianuro de potasio y 4 ml de acetato de zinc, mezclar aforar y filtrar.
- 4) Medir con una pipeta volumétrica 5 ml de la solución A y 5 ml de la solución B en un matraz Erlenmeyer de 500 ml.
- 5) Agregar 100 ml de agua y calentar en parrilla hasta ebullición; agregar poco a poco con la bureta el filtrado obtenido de la muestra, hasta la casi reducción total del cobre.
- 6) Añadir 1 ml de azul de metileno y continuar la titulación hasta la desaparición del color azul.

#### PROCEDIMIENTO ART

- 1) Tomar 50 ml de muestra clarificada y agregar 10 ml de ácido clorhídrico concentrado en un matraz aforado de 100 ml.
- 2) Colocar el matraz en un baño que se encuentre a 70 °C, calentar el matraz hasta esa temperatura y a partir de ese momento contar 15 min para lograr la hidrólisis de los azúcares presentes en la muestra.
- 3) Enfriar el matraz con agua fría en el exterior hasta temperatura ambiente.
- 4) Agregar 2 gotas de fenolftaleína y titular con el NaOH hasta el vire.
- 5) Colocar la muestra hidrolizada en la bureta.
- 6) Medir con una pipeta volumétrica 5 ml de la solución A y 5 ml de la solución B en un matraz Erlenmeyer de 500 ml.
- 7) Agregar 100 ml de agua y calentar en parrilla hasta ebullición; agregar poco a poco con la bureta el filtrado obtenido de la muestra, hasta la casi reducción total del cobre.
- 8) Añadir 1 ml de azul de metileno y continuar la titulación hasta la desaparición del color azul.

#### CÁLCULOS

$$\text{ARD \%} = ((\text{Factor} * \text{disolución}) / (\text{ml gastados} * \text{mg de muestra})) * 100$$

$$\text{ART \%} = ((\text{Factor} * \text{disolución}) * \text{disolución}) / (\text{ml gastados} * \text{mg muestra} * \text{ml de solución clarificada}) * 100$$

#### NOMBRE QUÍMICO

Fibra bruta

#### MÉTODO O TÉCNICA

Kennedy

Aplicable a todos los alimentos. El residuo lavado y seco queda después de hervir sucesivamente el material desengrasado con ácido sulfúrico e hidróxido sódico diluidos son denominados fibra bruta.

#### EQUIPOS Y REACTIVOS

- Solución de ácido sulfúrico al 1.25%
- Solución de hidróxido de sodio al 3.5%
- Crisoles de Gosh
- Embudo Buchner
- Papel filtro Whatman No 54
- Vasos Versalium de 600 ml
- Agitadores
- Parrilla eléctrica
- Bomba de vacío
- Matraz kitasato de 1 l
- Mangueras
- Desecador
- Estufa
- Mufia
- Tripie
- Mechero Fisher
- Pinzas para crisol
- Papel indicador
- Agua caliente para el lavado

#### PROCEDIMIENTO

- 1) Pesar una cantidad adecuada de muestra (1 – 2 g) en un matraz Versalium de 600 ml
- 2) Añadir 200 ml de ácido sulfúrico que ha sido calentado hasta entrar en ebullición.

- 3) Hervir suavemente durante 30 min, bajo condensadores de dedo frío. Rotar periódicamente los vasos para mezclar el contenido y desprender las partículas adheridas a la pared.
- 4) Añadir 200 ml de NaOH medidos a T ambiente y calentados seguidamente hasta el punto de ebullición.
- 5) Repetir el paso 3.
- 6) Filtrar el contenido del vaso utilizando el papel filtro, el embudo, y armando el dispositivo de los matraces kitasato con la bomba de vacío.
- 7) Lavar sucesivamente con agua hirviendo hasta neutralizar la torta de filtración. Comprobar esto con tiras indicadoras. Transferir el papel a crisoles Gosh que se encuentren a peso constante.
- 8) Calcinar el papel e incinerar en horno de mufla a 550°C durante 1 h.
- 9) Desecar el crisol con papel filtro a 100° C hasta peso constante.

## CÁLCULOS

$$\text{Fibra \%} = ((W2-W3)/(W4-W5)/W1) * 100$$

**W1** = Peso (g) de la muestra

**W2** = Peso (g) de papel con muestra

**W3** = Peso (g) de papel sin muestra

**W4** = Peso (g) de crisol con muestra

**W5** = Peso (g) de crisol sin muestra

## NOMBRE QUÍMICO

Cenizas

## MÉTODO O TÉCNICA

Método general

El concepto de cenizas se refiere al residuo que queda tras la combustión (incineración) completa de los componentes orgánicos en condiciones determinadas.

La determinación de las cenizas proporciona un índice que se utiliza junto con otros para caracterizar y evaluar la calidad del alimento en cuestión.

El método es aplicable a todos los tipos de productos alimenticios con excepción de los alimentos ricos en grasa (mayor del 50%).

## EQUIPOS Y REACTIVOS

- Horno o mufla a 550 °C
- Mechero Fisher o Bunsen
- Crisoles de porcelana
- Desecadores de sílica gel fresca como desecante
- Pinzas para crisol

## PROCEDIMIENTO

- 1) Colocar en el horno de la mufla durante 15 min o más el número de crisoles que se necesitan.
- 2) Sacar los crisoles, enfriarlos en desecador durante al menos 1 h y una vez enfriados a temperatura ambiente pesar cada crisol.
- 3) Pesar alrededor de 5 g de muestra.
- 4) Si la muestra es líquida, predesecarla sobre baño de vapor para evitar salpicaduras durante la fase de carbonización.
- 5) Carbonizar sobre llama de mechero.
- 6) Colocar los crisoles en el interior del horno de la mufla, lo más cerca posible del centro, e incinerar durante la noche a 550°C.
- 7) Sacar los crisoles de la mufla y colocarlos en un desecador durante al menos 1 h y dejarlos enfriar.
- 8) Una vez enfriados a temperatura ambiente volver a pesar cada crisol con sus cenizas hasta el mg más próximo.
- 9) Calcular por diferencia el peso de las cenizas.

## CÁLCULOS

$$\text{Cenizas \%} = (W2 / W1) * 100$$

**W1** = Peso (g) de la muestra  
**W2** = Peso (g) de las cenizas

### NOMBRE QUÍMICO

Pectina

### MÉTODO O TÉCNICA

Carrez

### EQUIPO Y REACTIVOS

- Vaso de precipitados de 600 ml
- Papel filtro Whatman No 4 y 41
- Parrilla eléctrica
- Crisoles
- Espátula
- Cloruro cálcico 1M
- Ácido acético 1M
- Hidróxido de sodio 1M
- Estufa

### PROCEDIMIENTO

- 1) Pesar 50 g de muestra en un vaso de precipitados de 600 ml y añadir 400 ml de agua. Hervir durante 1 h manteniendo constante el volumen en 400 ml.
- 2) Transferir el contenido a un matraz volumétrico de 500 ml y diluir hasta la señal de erase a 20°C.
- 3) Filtrar a través de papel de filtro Whatman No 4 y tomar, con pipeta, porciones de 100 ml de ésta solución.
- 4) Añadir 100 ml de agua y 10 ml de solución de NaOH 1M. Dejar reposar durante la noche.
- 5) Añadir 50 ml de solución de ácido acético y dejar que la solución repose durante 5 min. Lentamente añadir 25 ml de cloruro cálcico bajo agitación constante. Dejar en reposo durante una h.
- 6) Desecar durante 1 h papel de filtro Whatman No 41. enfriar y pesar.
- 7) Calentar la solución hasta ebullición. Filtrar en caliente a través del papel de filtro previamente pesado.
- 8) Lavar perfectamente el papel filtro con agua caliente hasta eliminar todas las trazas de cloruro (probar con nitrato de plata / ácido nítrico).
- 9) Transferir el papel filtro y contenido al pesa sustancias y desecar a 105 °C durante 3 h. Enfriar y pesar. Volver a desecar durante otra media h y comprobar el peso para asegurarse de que no se han producido posteriores pérdidas de peso.

### CÁLCULOS

El resultado se reporta como pectato de calcio

$$\text{Pectina \%} = ((W2 / W1) / W3) * 100$$

**W1** = Peso (g) de papel sin pectina

**W2** = Peso (g) de papel con pectina

**W3** = Peso (g) de la muestra

#### Determinación de Actividad de agua Aw

##### Material y equipo

- AquaLab
- Cápsulas para AquaLab
- Espátula

##### Procedimiento

- 1) Encender el equipo.
- 2) Llenar la cápsula para AquaLab con agua destilada hasta la mitad.
- 3) Introducir la cápsula y girar la perilla hasta que se encuentre en READ.
- 4) Esperar a que la muestra llegue al equilibrio y produzca un sonido (alarma)
- 5) Anotar la lectura ( debe ser de 1.000 +/- .003.
- 6) Realizar desde el punto 2 pero ahora con la muestra en cuestión.

#### Determinación de Conductividad eléctrica

**Material y equipo**

- Conductímetro
- Espátula
- Recipientes de plástico para conductímetro

**Procedimiento**

- 1) Calibrar el equipo introduciendo en un recipiente la solución calibradora.
- 2) Limpiar el electrodo con agua destilada.
- 3) Rellenar el recipiente de plástico con la muestra en cuestión.
- 4) Introducir el electrodo hasta que se cubran los orificios que se localizan en la parte superior del mismo.
- 5) Encender el equipo.
- 6) Oprimir el botón que dará los datos de conductividad eléctrica. (elegir las unidades correspondientes).
- 7) Esperar hasta que se estabilice el resultado y anotarlo.

**Determinación de intensidad respiratoria**

**Método:** Dispositivo de Pettenkoffer

**Material:**

- |                                   |                        |
|-----------------------------------|------------------------|
| - Balanza Granataria              | - Tubo de Pettenkoffer |
| - Matraces Erlenmeyer             | - Burbujeadores        |
| - Bureta de 50 ml                 | - Bomba de vacío       |
| - Vasos de precipitados de 150 ml |                        |

**Reactivos:**

- |  |                               |
|--|-------------------------------|
| - Hidróxido de Bario $Ba(OH)_2$ al 0.1 N | - Ácido Clorhídrico al 0.1 N  |
| - Fenolftaleína al 1%                    | - Hidróxido de potasio al 40% |
|  | - Hidróxido de sodio          |

**Procedimiento:**

Se toma el peso de un par de xoconostles, se coloca el fruto en el respirómetro conectado a la bomba de vacío, se miden 50 ml de solución de hidróxido de bario al 0.1 N con pipeta graduada, se le agregan 10 gotas de indicador, se mezclan y se vacían en los burbujeadores, posteriormente se conectan los burbujeadores y se enciende la bomba durante 1 h controlando la velocidad de las burbujas (ver figura 17 en el texto).

Transcurrido el tiempo se titula el hidróxido de bario con solución de ácido clorhídrico 0.1 N hasta un vire blanco. Siguiendo el mismo procedimiento se corre el blanco.

**Cálculo:**

$$((T_b - T_m) * 2.2) / (P * t) = \text{mg CO}_2 / \text{Kg h}$$

**Donde :**

**T<sub>b</sub>** = ml gastados de HCl 0.1N en blanco

**t** = tiempo en horas.

**T<sub>m</sub>** = ml gastados de HCl 0.1 N en la muestra

**2.2** = mg de  $\text{CO}_2$  / ml de HCl 0.1N

**P** = peso de la muestra en Kg