



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES**

**ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

**Análisis físico-químico para la determinación de la calidad de las  
frutas**

**Monografía previa a la obtención del título de Licenciada en Ciencias  
Químicas con mención en Química Analítica**

**IRINA MINOSHKA CAZAR VILLACÍS**

**QUITO, 2016**



## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que la monografía en Ciencias Químicas, con mención en Química Analítica, de la Srta. Irina Minoshka Cazar Villacís ha sido concluida con conformidad con las normas establecidas; por lo tanto, puede ser presentada para la calificación correspondiente.

Mtr. Cristina Mena

Director de la Monografía

Quito, 7 de julio del 2016

## **AGRADECIMIENTO**

“Cuando la gratitud es absoluta las palabras sobran”

Álvaro Mutis

Mi agradecimiento va dirigido primeramente a Dios quién me ha me ha dado la fortaleza para poder cumplir con mis metas. A mis padres, mi familia, mis maestros, mis amigos y todos aquellos que me han apoyado y guiado de una u otra forma para culminar con este trabajo, y no sólo eso sino que han estado siempre ahí en los buenos y malos momentos siendo mi ejemplo para crecer personalmente.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. RESUMEN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. ABSTRACT.....</b>	<b>2</b>
<b>3. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>3</b>
<b>4. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>5</b>
4.1. LA FRUTA.....	5
4.1.1. Generalidades .....	5
4.1.2. Composición química de la fruta .....	7
4.2. LA CALIDAD DE LAS FRUTAS .....	10
4.2.1. Factores pre cosecha y post cosecha que afectan la calidad .....	11
4.2.2. Criterios de calidad en frutas.....	16
4.2.3. Normativa de la calidad de frutas frescas.....	18
4.3. PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE LA CALIDAD EN FRUTAS FRESCAS .....	21
4.3.1. Firmeza .....	22
4.3.2. Acidez titulable .....	24
4.3.3. Color.....	25
4.3.4. Grados Brix o cantidad de sólidos solubles.....	28

4.4. TÉCNICAS ESPECTROSCÓPICAS PARA DETERMINAR LA CALIDAD EN FRUTAS.....	31
4.4.1. Espectroscopia ultravioleta visible.....	33
4.4.2. Espectroscopía de reflectancia infrarrojo cercano.....	37
4.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	42
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>44</b>
<b>6. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>46</b>
<b>7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>47</b>
<b>8. FIGURAS.....</b>	<b>53</b>
<b>9. TABLAS.....</b>	<b>56</b>

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1. Clasificación de las frutas .....	53
Figura 2. Criterios de calidad.....	53
Figura 3. Espectro electromagnético.....	54
Figura 4. Modalidades de operación de espectroscopía NIR .....	54
Figura 5. Coordenadas de color en uvilla .....	55
Figura 6. Espectro NIRS log (1/R) del tomate usando dos equipos .....	55

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Componentes mayoritarios de frutas españolas .	56
Tabla 2. Principales azúcares presentes en algunas frutas .	56
Tabla 3. Ácidos más comunes en frutas	56
Tabla 4. Sólidos solubles y porcentaje de acidez titulable de algunas frutas ..	57
Tabla 5. Colores absorbidos y observados a las diferentes longitudes de onda en la región VIS de análisis químico cuantitativo.	57
Tabla 6. Estadísticas de las ecuaciones de calibración para la predicción de la firmeza	58

## 1. RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue conocer los diferentes análisis físico-químicos que determinan la calidad en frutas frescas mediante técnicas convencionales (refractometría, volumetría, penetrometría, colorimetría triestímulo) y técnicas espectroscópicas (ultravioleta-visible y de reflectancia en el infrarrojo cercano), para definir cual ofrece mayores beneficios en el laboratorio.

Inicialmente se realizó una revisión bibliográfica de la fruta y sus características, así como también se identificó los parámetros que influyen en su aceptación o rechazo. Siendo los principales aspectos: cantidad de sólidos solubles, acidez titulable, firmeza y color, mismos que pueden ser medidos y comprobados con datos de referencia de manera que se evalúe objetivamente la calidad.

Finalmente se pudo conocer cuáles son las técnicas físico-químicas más utilizadas para determinar éstos parámetros y poder establecer una discusión sobre sus bondades. Concluyendo que pueden ser empleadas conjuntamente y su elección depende de la información requerida y del cumplimiento de las normas vigentes para garantizar un producto de alta calidad en la industria frutícola.

**Palabras clave:** análisis físico-químico, sólidos solubles, acidez titulable, firmeza, color, técnicas espectroscópicas

## 2. ABSTRACT

The aim of this work was to study the different physical and chemical analyzes that determine the quality of fresh fruits by conventional (refractometry, volumetrics, penetrometer, tristimulus colorimetry) and spectroscopic techniques (ultraviolet-visible and near-infrared reflectance) in order to define which offers the greatest benefits in the laboratory.

Initially a literature review, of the fruit and its characteristics, was performed and the parameters that influence their acceptance or rejection were also identified. The main aspects were: amount of soluble solids, titratable acidity, firmness and color, which can be measured and verified with reference data so that quality is objectively assessed.

Finally it was determined which physico-chemical techniques are more used and to establish a discussion of their benefits. Concluding that they can be used together and choice depends on the required information and compliance with existing standards to ensure high quality product in the fruit industry.

**Keywords:** physico-chemical analysis, soluble solids, titratable acidity, firmness, color, spectroscopic techniques.

### 3. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha visto un incremento en el cultivo de frutas, puesto que existe una tendencia hacia su ingesta a nivel mundial, ya sea por sus beneficios nutricionales o su facilidad de consumo, por tal motivo se enfrenta a un mercado cada vez más exigente en el que se requiere de productos con alta calidad para satisfacer las necesidades del cliente y es en esto que radica la importancia de aplicar el análisis físico-químico para determinar dicho parámetro (Vázquez y López, 2005).

Este trabajo se centra en las frutas frescas, es decir aquellas que mantienen sus procesos fisiológicos básicos, ya que sus células siguen vivas después de la cosecha, por tal razón siguen respirando para obtener energía y metabolitos útiles, pero debido a las distintas condiciones que el producto experimenta durante el periodo de recolección y almacenamiento se producen ciertos cambios que modifican su estructura y por ende su calidad (Casp, 2014).

La palabra calidad proviene del latín “qualitas” que significa atributo o propiedad básica de un objeto y está asociada con su grado de excelencia. Según Kaoro Ishikawa la calidad es “diseñar, producir y ofrecer un producto o servicio que sea útil, al mejor precio posible y que siempre satisfaga las necesidades del cliente” (Gordón 2010).

En las frutas suele evaluarse la calidad con respecto al criterio de la visión humana. Pero debido a las exigencias comerciales es necesario el uso de sistemas

de visión artificial que examinen las frutas y garanticen su consumo, mediante la identificación de compuestos por medios químicos analizando la composición elemental o comparando con propiedades físicas (Wade, 2012).

Para esto se consideran los siguientes indicadores: firmeza, sólidos solubles, acidez y color, mismos que pueden determinarse por técnicas convencionales (penetrometría, refractometría, volumetría, colorimetría) y por técnicas espectroscópicas (UV-Vis, NIR), como se muestra en recientes investigaciones científicas en las que se realizan éstos ensayos conjugando tecnologías y, a su vez usando dichas medidas referenciales para construir modelos matemáticos de predicción con los que se consiguen mejores respuestas (Slaughter, 2009).

## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1. LA FRUTA

#### 4.1.1. Generalidades

La Norma Técnica Ecuatoriana (NTE) del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) 1751:1996 denomina fruta al “órgano comestible de la planta, procedente de la fructificación, destinada al consumo en estado natural” y fruta fresca a aquellas “cuyas células se mantienen en estado de turgencia y presentan características de maduración comercial”.

Según el Código Alimentario Español (CAE), las frutas se definen como “fruto, inflorescencia, semilla o partes carnosas de órganos florales que hayan alcanzado un grado óptimo de madurez y sean adecuadas al consumo humano” (Aranceta y Pérez, 2006).

En general, son productos comestibles y carnosos que provienen del órgano frutícola de una planta. Se caracterizan por sufrir modificaciones fisiológicas, físicas y químicas, que combinadas o en conjunto constituyen la etapa de maduración (Casp, 2014).

Son fundamentales para conseguir una buena nutrición y la energía necesaria para realizar actividades diarias gracias a su alto aporte calórico (30-50 kcal/100g de porción comestible) y de nutrientes. Además de éstos efectos, el consumo de las mismas ofrece propiedades fisiológicas beneficiosas para la

salud (Vázquez y López, 2005).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda un consumo de 400g/día (cinco o más porciones) fundamentada en estudios epidemiológicos que señalan que su ingesta conduce tanto a una menor incidencia como reducción de mortalidad por enfermedades. A pesar de que las frutas son ricas en vitaminas, minerales, fibra y otros compuestos bioactivos, carecen de vitaminas B<sub>12</sub> y D de tal modo que se requiere complementar la dieta con otras fuentes alimenticias para evitar efectos perjudiciales en la salud (Aranceta y Pérez, 2006).

Las frutas debido a su gran variedad pueden clasificarse según cuatro criterios: por su naturaleza, estado, fisiología y categoría comercial como se muestra en la Figura 1 (Rodríguez, 2008).

**Según su naturaleza:** carnosas con un contenido mayor al 50% de agua como las manzanas, secas con menos del 50% de agua como uvas pasas y oleaginosas empleadas para la obtención grasa como la oliva. A su vez las carnosas se subdividen en función del tipo de fruto de procedencia en: bayas, herperidium, pepónidas, drupas, rosáceas, agregadas y múltiples (Rodríguez, 2008).

**De acuerdo a su estado:** frescas las que no sufren ningún tratamiento y son de consumo inmediato, desecadas se ha reducido la humedad mediante acción natural por el aire o el sol y deshidratadas en las que se reduce la

humedad por tratamientos no naturales para alargar el tiempo de vida y evitar daños (Aranceta y Pérez, 2006).

**Según la fisiología:** se diferencian entre frutas climatéricas y no climatéricas, donde las primeras se caracterizan por sufrir cambios luego de la cosecha que coincide con la producción de etileno, por el contrario en las no climatéricas no existe incremento en la emisión de etileno, es decir no hay cambios post cosecha (Rodríguez, 2008).

**Por la categoría comercial:** de acuerdo con la norma ecuatoriana NTE INEN 1751: 1996 para frutas frescas se establece tres grados: extra, I y II en base a la forma, color, desarrollo y defectos (Rodríguez, 2008).

#### **4.1.2. Composición química de la fruta**

Conocer la composición química de los frutos es de gran interés ya que da información sobre sus propiedades nutricionales, aspectos de calidad y comportamiento post cosecha. Estos alimentos son ricos en agua, hidratos de carbono, vitaminas, minerales, ácidos orgánicos, compuestos fenólicos, pigmentos y sustancias aromáticas (ver Tabla 1). Poseen escaso contenido de grasa y bajo contenido en proteínas (Casp, 2014; Gil, 2010).

El principal componente de las frutas es el agua. Los productos más perecederos son los que tienen mayor contenido hídrico como los frutos carnosos (melocotón, sandía, fresa). En promedio el contenido de este constituyente comprende entre el 81-93 % del peso fresco. Cuando el fruto se

encuentra enlazado a la planta este contenido varía, en cambio después de la cosecha se pierde por la transpiración produciendo un marchitamiento. Por otra parte, el agua es muy importante porque es el medio en el que se dan muchas reacciones químicas y enzimáticas, además de influenciar en la frescura del producto ya que contribuye con la turgencia que es el estado normal de las células vivas (Castro, 2011).

Los hidratos de carbono son constituyentes esenciales que cumplen con funciones como: reserva de energía, sabor y componentes estructurales (pectina). Se encuentran presentes en un promedio de 2-40g/100g del peso total fresco. El almidón está presente en órganos reproductivos en estado inmaduro, en el que se hidroliza a azúcares sencillos (monosacáridos y disacáridos) durante el proceso de maduración donde su concentración se disminuye. Los principales azúcares son: sacarosa, fructosa y glucosa (ver Tabla 2), y en menor concentración la xilosa, arabinosa y manosa. En lo que concierne a la fibra su contenido depende de la variedad, cultivo y el estado de maduración, se encuentra compuesta de celulosas, hemicelulosas, pectinas y ligninas responsables de la firmeza, textura y efecto de saciedad. El contenido de fibra total oscila entre el 0,3-2,5% en donde la proporción de fibra insoluble es mayor al de la soluble (Vázquez y López, 2005).

En relación con las vitaminas las más representativas son: la vitamina C (hidrosoluble) y provitamina A (liposoluble). La vitamina C se encuentra en mayor cantidad en la corteza que en la pulpa y ejerce una acción antioxidante, previniendo alteraciones oxidativas en los tejidos; mientras que el aporte de

vitamina A (proveniente de los carotenoides) es más alto en frutas coloreadas, genera pigmentos que ayudan en el funcionamiento de la retina y colabora en la formación y mantenimiento de los huesos (Flores, 2009).

La cantidad de micronutrientes varía según el tipo de cultivo, exposición, fertilizantes y el grado de madurez. Los componentes minerales principales son el fósforo y el potasio destacados en frutas como el kiwi, melón, uvas, plátano (Carvajal, 2012).

Entre los ácidos orgánicos se distinguen los hidroxiacidos como el ácido cítrico (naranja), málico (manzana) y tartárico (uvas), los cuales disminuyen en el proceso de madurez ya que se transforman en azúcares. Su proporción va de acuerdo al tipo de fruta y aportan sensaciones gustativas características que se obtienen cuando existe un buen equilibrio entre el contenido de azúcares y ácidos (Casp, 2014).

Otros compuestos ampliamente presentes en los frutos son los fenólicos los cuales influyen en la aceptación organoléptica (sabor, color, astringencia). Su importancia radica en que son los responsables del pardeamiento y sirven como mecanismo de defensa ante microorganismos. Entre ellos tenemos: monofenoles, polifenoles, ácidos fenólicos y flavonoides, donde los últimos son los más abundantes y están enlazados a los azúcares (Gil, 2010).

En lo que se refiere a los pigmentos se distinguen clorofilas, flavonoides y carotenoides, con un papel directo sobre el color. Las clorofilas están

presentes en frutos jóvenes, van desapareciendo a medida que la fruta madura y se forman carotenoides y flavonoides. Las antocianinas (flavonoides) proporcionan colores que van del rojo al azul y varían con el pH, están principalmente en la piel de la fruta. Los carotenoides de carácter antioxidante confieren colores del amarillo al rojo (Flores, 2009).

Las sustancias aromáticas producidas en cantidades muy pequeñas están formadas por compuestos volátiles como: ésteres, alcoholes, aldehídos, ácidos, cetonas y derivados terpénicos (Gil, 2010).

Los lípidos se encuentran en un contenido muy bajo entre el 0,1-0,5%, lo que no ocurre en los frutos secos donde su proporción es significativa. En lo que respecta a los compuestos nitrogenados, el contenido de proteínas es menor al 1% y la mayor parte está representada por enzimas que participan en el proceso de maduración (Crisosto y Mitchell, 2007).

#### **4.2. LA CALIDAD DE LAS FRUTAS**

La calidad es una percepción sensorial compleja que se puede definir de varias maneras. Según la Norma Española-Norma Europea (UNE-EN) y la Organización Internacional de Normalización (ISO) según sus siglas en inglés se entiende como el grado en el que un conjunto de características de un producto cumple con parámetros normalizados para satisfacer las expectativas del cliente. La NTE INEN 1751:1996 define al grado de calidad como: “conjunto de características organolépticas y físicas (tamaño, estado, pureza, forma, aroma, textura, color) que definen el valor comercial o destino de la fruta”.

También se puede determinar la calidad dependiendo del destino que se le dé al producto, porque no es lo mismo un producto fresco que uno procesado. Por ejemplo el tomate en fresco y en salsa, en cada uno se evalúan diferentes parámetros (Alcalde, 2009).

Esta percepción es valorada objetiva o subjetivamente por parte del cliente de manera simultánea, ya que el cerebro procesa información obtenida por los órganos de los sentidos y almacena en su memoria estas experiencias. Es posible generar una fidelidad del consumidor de acuerdo a sus preferencias para futuras compras al valorar distintos aspectos que estarán tanto ligados a factores externos como el color y la apariencia, así como a factores internos como el dulzor, sabor, aroma entre otros. Se ha visto la necesidad de un control íntegro donde se tome en cuenta éstos atributos en todas las etapas de la producción mediante ensayos físico-químicos para garantizar su calidad y poder comercializarlos en el mercado mundial (Bruhn, 2007).

Adicionalmente, se debe tomar en cuenta que se requiere buenas prácticas tanto en pre cosecha como en post cosecha para obtener un nivel superior de calidad que beneficie a los productores y consumidores, brindando un producto de mejores características (López, 2010).

#### **4.2.1. Factores pre cosecha y post cosecha que afectan la calidad**

Para la obtención de productos de calidad es indispensable estudiar los factores tanto pre cosecha como en post cosecha, así como conocer su interrelación y la manera cómo podrían optimizarse, para lograrlo se debe tener

en consideración diversos factores que afectan a la calidad del fruto e inciden en su comportamiento después de la cosecha, ya que cada vez los consumidores tienden a buscar productos de calidad superior con respecto a aspectos sensoriales y nutricionales mismos que se manifiestan como un reflejo de la composición química de la fruta (Romojaro et al., 2003).

Se ha prestado más atención sobre los factores pre cosecha que repercuten en los factores post cosecha. Los principales factores pre cosecha son los genéticos, fisiológicos, agronómicos y ambientales (Crisosto y Mitchell, 2007).

### **Factores genéticos**

Las frutas requieren de resistencia a plagas, por eso la genética resulta útil para alterar la calidad y rendimiento de algunas frutas. Por ejemplo para prolongar la vida útil y mejorar la calidad las técnicas de biología molecular son una buena alternativa, pero su aplicación dependerá de la aceptación del cliente y la normativa vigente en cada país (Bruhn, 2007).

### **Factores fisiológicos**

Se debe considerar las especies climatéricas o no climatéricas (ver Figura 1). En las primeras se producen cambios post cosecha dando al fruto la facultad de seguir desarrollándose después de su recolección, y las especies no climatéricas no poseen esta capacidad y deben recolectarse en el momento exacto que han llegado a su calidad de consumo como es en el caso del color

que se alcanza en el periodo de pre cosecha (Kader, 2007).

### **Factores agronómicos**

Son los más importantes ya que intervienen en el estado nutricional y directamente en la calidad en lo que se refiere al crecimiento y fisiología del fruto. Los elementos que participan en procesos metabólicos son nitrógeno, calcio, fósforo y potasio, siendo el nitrógeno el que tiene mayor efecto ya que está ligado con la síntesis de proteínas y carotenoides, su exceso o deficiencia provoca frutos de menor tamaño y rendimiento, además de un sabor desagradable. El calcio participa en procesos bioquímicos y morfológicos, se relaciona con la textura por su capacidad de establecer enlaces iónicos con los grupos carboxilatos de las pectinas, su deficiencia causa manchas, lunares, grietas y quemaduras. El fósforo actúa en la fotosíntesis, respiración, división y crecimiento celular. El potasio, nutriente esencial relacionado con procesos metabólicos, desempeña un papel importante en la fotosíntesis, su deficiencia eleva la respiración de la planta, su presencia incide en el contenido de azúcares, proteínas y en el peso del fruto (Flores 2009; Crisosto y Mitchell, 2007; Carvajal, 2012).

Otro de los factores agronómicos es el suelo, que debe estar provisto de un contenido adecuado de materia orgánica mayor al 5% capaz de mantener la humedad, con un pH entre 5.5 a 6.5, para el buen desarrollo del cultivo (Flores, 2009).

## **Factores ambientales**

La temperatura dependiendo de su intensidad, tiempo de exposición y el estado de la fruta provoca daños directos (membranas celulares, proteínas, ácidos nucleicos) e indirectos (inhibición de la síntesis de pigmentos) produciendo quemaduras en los cultivos que afectan en la calidad y valor nutricional. Si los efectos de temperatura se encuentran asociados con radiaciones solares fuertes se pueden alterar propiedades organolépticas por variaciones en el contenido de sólidos solubles y acidez titulable (Sams, 2009; Flores, 2009).

La influencia de factores pre cosecha tiene repercusión en los factores post cosecha. Los factores post cosecha se limitan a preservar la calidad. Las pérdidas entre cosecha y el consumo, se encuentran en un valor muy elevado comprendido entre el 20 al 50% en países en vías de desarrollo dependiendo de varias condiciones, por lo que se recomienda mayor control de factores biológicos y ambientales. Entre éstos factores tenemos: sequías, transpiración, producción de etileno, respiración, mismos que disminuyen el valor alimenticio, provocan pérdida de dulzor y producen cambios en la composición química de cada fruta (Kader, 2007).

Para la preservación de la calidad post cosecha se recomiendan las siguientes alternativas:

**Manejo de la temperatura:** todos los productos perecederos tienen una temperatura óptima de almacenamiento con la que se alcanza el máximo

tiempo de vida útil de la fruta. También se recomienda el enfriamiento a temperaturas bajas después de la cosecha para mantener propiedades fisiológicas, además de proteger atributos de la calidad como textura, sabor, aroma, valor nutricional (Crisosto y Mitchell, 2007).

**Manejo de humedad relativa:** la humedad del aire busca mantener un equilibrio entre la humedad de la fruta y del ambiente con el fin de evitar la transpiración misma que produce daños fisiológicos en las frutas como disminución del brillo y flacidez (Flores, 2009).

**Atmósferas controladas:** es un complemento al manejo de la temperatura y humedad relativa, ayuda a la reducción cualitativa y cuantitativa de pérdidas en la post cosecha. Ésta consiste en la reducción del oxígeno y aumento de dióxido de carbono retrasando la maduración, disminuyendo algunas fisiopatías y alteraciones de almacenamiento (Tudela et al, 2003).

**Irradiación:** su objetivo es reducir las pérdidas debidas a la alteración y descomposición. Mejora la seguridad y aumenta el tiempo de vida útil mediante la aplicación de una radiación ionizante para eliminar microorganismos e insectos. Las fuentes de radiación aprobadas para el uso en alimentos son: rayos gamma, rayos X y haz de electrones. Sus propósitos son: prevención de enfermedades, conservación, esterilización, retraso de la germinación y maduración (FDA, 2014).

#### **4.2.2. Criterios de calidad en frutas**

La calidad es diferente para productores, envasadores y consumidores, ya que todos evalúan distintos parámetros y por eso se han considerado cuatro criterios: apariencia, sabor, valor nutritivo y seguridad (ver Figura 2) (Carvajal, 2012).

##### **Apariencia**

Uno de los criterios más importantes es la primera impresión ya que determina la aceptación y decisión de compra. Los atributos que se evalúan son: uniformidad, defectos y frescura/madurez. (López, 2010).

La uniformidad es la principal actividad de preparación para el mercado ya que se realiza una selección de productos por su forma, calibre y color, en el que el calibre se determina por el diámetro en mm de la sección ecuatorial y polar de la fruta y la masa expresada en gramos (López, 2010).

Otros de los aspectos a evaluarse son los defectos tanto morfológicos como fisiológicos dados por diferentes causas durante el crecimiento del fruto desencadenando una serie de daños por manipulación, frío, patógenos y efecto del etileno (López, 2010).

La frescura/madurez forma también parte de la apariencia, donde el primer componente se conoce como la condición próxima a la cosecha y el

segundo es el punto de máxima calidad comestible. Dentro de los parámetros con los que se relacionan tenemos: color, tamaño y brillo (López, 2010).

### **Sabor**

Es una combinación de sensaciones percibidas por la lengua y la nariz, que quedan grabadas en la memoria del ser humano, mismo que es capaz de distinguirlas en cualquier momento. Así se valoran sabor, astringencia y aroma (López, 2010).

El sabor se expresa en términos de principios dulces y ácidos aumentando o disminuyendo en función de la madurez del fruto, aquí se determina la cantidad de sólidos solubles y de ácidos. La astringencia se percibe por toda la lengua y el resto de la cavidad bucal, se encuentra relacionada con la sensación de amargor y pérdida de lubricación y está asociada a la presencia de taninos, además disminuye con la maduración. El aroma provocado por diferentes sustancias volátiles es afectado por la temperatura (Lacey et al., 2000; Rodríguez, 2008).

### **Valor nutritivo**

Las frutas no son suficientes para satisfacer las necesidades nutricionales del ser humano, requieren ser complementados por otros alimentos, ya que poseen un bajo contenido de materia seca, carbohidratos, proteínas y lípidos. Pero son una fuente importante de vitaminas y minerales,

su consumo ayuda a mantener los niveles de glucosa en la sangre y eliminar una parte del colesterol circundante (Lacey et al., 2000).

## **Seguridad**

Componente de vital importancia destinado a controlar la presencia de sustancias nocivas como plaguicidas, microorganismos patógenos, micotoxinas y metales pesados con el fin de brindar un producto inocuo que no ponga en riesgo la salud humana. En vista que las frutas generalmente se consumen en fresco y de forma directa con cáscara, se debe tener un control riguroso de las sustancias mencionadas de acuerdo al Codex Alimentarius donde se especifica la concentración máxima en la que un agroquímico puede ser usado lo que se conoce como los límites máximos de residuos (LMR) (López, 2010).

Para cumplir con todos estos criterios se necesitan sistemas efectivos de control y aseguramiento de la calidad que brinden productos de acuerdo a los requerimientos del cliente. En lo que se refiere al sector hortofrutícola los productos frescos deben ser una combinación de ciertos atributos que le den su valor nutricional e inocuidad (Gordón, 2010).

### **4.2.3. Normativa de la calidad de frutas frescas**

La calidad es una herramienta competitiva en constante evolución que conduce a la necesidad de definir estándares. Todos los países cuentan con

normativas para facilitar el intercambio de productos. Hoy en día la comercialización de frutas está reglamentada por estándares que en conjunto se conocen como “Inspección de calidad” (FAO/OMS, 1994).

Debido a que las frutas son alimentos altamente perecederos, los estándares se han ido fortaleciendo hasta dirigirse a un enfoque sistemático y preventivo con resultados más efectivos para mejorar la calidad, en lugar de eliminar unidades defectuosas. Como consecuencia se demostró que la calidad se extiende más allá del producto y está afectada por sistemas involucrados en procesos de producción y preparación (López, 2010).

Siguiendo modelos europeos el concepto de calidad evoluciona a “Aseguramiento de la calidad” que busca garantizar el cumplimiento de algunos requisitos que se estipulan en sistemas como la Organización Internacional de normalización (ISO) y el Análisis de Peligros y Control de Puntos Críticos (HACCP) diseñados para asegurar una calidad superior (López, 2010).

La normativa que garantiza el control de la calidad para frutas frescas en el país es la INEN 1751:1996 basada en las normas internacionales ISO (1990/1:1990 y 1990/2:1990), en la Norma Colombiana ICONTEC 1291:1977, en la FAO/OMS CODEX ALIMENTARIUS y en el manual de legislación español para la inspección de la calidad. Esta norma consta de definiciones básicas y la clasificación según la categoría comercial, siendo los requerimientos exigidos: calibre, color y ausencia de daños. Existen además instituciones comprometidas con el sector hortofrutícola como es el caso del Instituto

Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) y la Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro que brindan servicios de análisis físico-químicos basadas en el cumplimiento de normas nacionales (NTE) e internacionales (Norma técnica peruana). Además agrocalidad cuenta con certificación ISO 9001:2008 e ISO 17025 asegurando la competencia técnica de sus ensayos.

### **4.3. PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE LA CALIDAD EN FRUTAS FRESCAS**

El análisis físico-químico de los alimentos es primordial en el aseguramiento de la calidad, ya que ayuda a determinar el valor nutricional y controlar el cumplimiento de ciertos parámetros, además del estudio de adulteraciones, irregularidades, contaminaciones, en alimentos frescos y en los que han sufrido un proceso de transformación (Millán y Ciro, 2012).

Comúnmente el primer paso es la inspección de aspectos externos como el tamaño y color del fruto para la separación de productos defectuosos. Seguido de la determinación de atributos internos por métodos analíticos. La mayoría de estos indicadores se obtienen por técnicas convencionales sencillas, donde los resultados obtenidos pueden verse limitados por la variabilidad de las muestras, por eso hoy en día las investigaciones buscan una mayor aplicación de técnicas espectroscópicas que puedan compararse con las convencionales para garantizar un control íntegro (Diezma et al., 2001).

En este trabajo se han tomado en cuenta los siguientes parámetros físicos: firmeza, color y químicos: medición de sólidos solubles y acidez, mismos que brindan información específica y pueden analizarse en conjunto (Diezma et al., 2001).

#### 4.3.1. Firmeza

La firmeza es una percepción humana que surge de la interacción con el alimento al momento de su manipulación o ingesta. Se considera como la fuerza que se necesita para romper los tejidos carnosos, mide la resistencia a daños físicos que suceden durante la manipulación, recolección y transporte. A su vez es un índice de crocantez, nivel de deshidratación y de la integridad de los tejidos relacionada con la estructura de la pared celular, con el grado de maduración y con el color externo, su medición predecirá la aceptación y almacenamiento del producto. Este indicador depende de la turgencia, cohesión, forma y tamaño de las células que forman parte de la pared celular, de tejidos y de la composición del fruto (Diezma et al., 2001).

La firmeza disminuye al aumentar la temperatura de almacenamiento en función del tiempo, debido a que no todas las frutas evolucionan con la misma rapidez se realiza seguimientos por separado mediante curvas (reducción de firmeza vs. temperatura) que permiten obtener periodos óptimos de conservación, el momento en que el fruto puede ser expandido y su tiempo máximo de venta (Valero, 1998).

La firmeza se encuentra relacionada directamente con la deformación o cambio de las propiedades físicas del producto por efecto de la compresión mecánica. Existen algunos métodos de punción, compresión y penetración para medir la firmeza. El más común es el descrito por Magness Taylor mediante el uso del penetrómetro o usando un analizador de textura

computarizado, donde se mide la fuerza que opone un material biológico cuando se aplica la presión necesaria para insertar un émbolo de diámetro específico (8mm para frutos duros y 11 mm para blandos) en la pulpa, valorando de esta manera la resistencia. Cabe resaltar que se debe someter la presión con un ángulo constante y a un ritmo controlado de penetración (200 mm/minuto) para garantizar los resultados, mismos que serán expresados en términos de presión (KPa), unidades de fuerza (N) o incluso en kilogramos (Domene y Segura, 2014).

### **Medida de la firmeza**

Para la toma de muestras se realiza al azar seleccionando diez frutas de cada tamaño de diferentes lotes, mismas que estén libres de defectos. En lo que respecta a la preparación de las muestras se debe retirar un disco de dos centímetros cuadrados de piel de los lados opuestos de la fruta. Si el color no es uniforme se mide entre las porciones con distinta coloración.

Primero se pone el émbolo adecuado en el penetrómetro según el tipo de fruta que será analizada, se calibra y se coloca la muestra de forma que el instrumento se encuentre vertical. Seguido se presiona e introduce parcialmente el pistón hasta registrar el valor. Finalmente se expresa el resultado en libras o kilogramos y se estandariza los calibres (Domene y Segura, 2014).

#### 4.3.2. Acidez titulable

La titulación ácido-base consiste en la determinación de la concentración de un ácido o base cuando se le agrega un volumen de concentración conocida. El punto al cual el número de equivalentes del valorante es igual al de la sustancia titulada se define como el punto de equivalencia y es en éste en el que se producirá un cambio brusco de pH visualmente perceptible (Muñoz y Vega, 2014).

La acidez valorable exhibe la concentración total de ácidos contenidos en el fruto (cítrico, málico, láctico, succínico, glicérico, fosfórico, clorhídrico, fumárico, tartárico, etc). Se utiliza volumetría, es decir se mide volúmenes mediante una titulación ácido-base que implica: titulante, titulado y el indicador. Por lo general se usa como agente colorante a la fenolftaleína que tiene un punto de viraje entre pH= 8,2 a pH=10 siendo incoloro en su forma ácida y rosado en la alcalina. El medio titulante es una base (NaOH 0,1N), y el titulado es el ácido predominante (Domene y Segura, 2014).

Evaluar la acidez es muy conveniente debido a su influencia en el sabor, color, estabilidad y calidad de conservación. La fruta experimenta una disminución de acidez a medida que madura, además con este valor y el de los grados Brix se estima la proporción entre azúcar y ácido conocido como el índice de madurez ( $^{\circ}\text{Brix}/\% \text{ácido}$ ) que también es un indicativo muy importante en la calidad organoléptica (Domene y Rodríguez, 2014).

### **Medida de acidez**

Para la preparación de la muestra se corta la fruta en trozos, posteriormente se licúa y filtra. Una vez obtenido el zumo se toma una cantidad conocida aproximadamente 10 mL, se agrega 50 ml de agua destilada y gotas del indicador. Luego se deja caer gota a gota el valorante (NaOH 0,1N) hasta viraje de transparente a rosado. Seguido se registra el volumen y se realiza los cálculos respectivos. El resultado se expresa en función del ácido usado, los más comunes son: cítrico, málico y tartárico (ver Tabla 3).

#### **4.3.3. Color**

“Se define como una respuesta mental al estímulo producido en la retina por una radiación luminosa visible”. En las frutas posee la capacidad de reflejar o emitir la energía a distintas longitudes para estimular a la retina. Sin embargo, esta percepción no sólo depende de la luz que nos llega al ojo sino también del objeto y de las condiciones que lo rodean (Artigas et al., 2002).

Los cambios físico-químicos como el color se hallan directamente relacionados con la maduración, siendo una medida inicial para conocer el estado de la fruta, este indicativo se desarrolla e intensifica debido a la acumulación de antocianinas y carotenoides que se encuentran enmascaradas por las clorofilas cuando la fruta todavía está verde o inmadura (Nirmal et al., 2012).

Los cambios en la pigmentación no sólo ocurren durante el desarrollo del fruto, sino que continúan después de la cosecha llegando a ser deseables

o indeseables, esto depende del caso, por ejemplo el desaparecimiento de la clorofila es deseable, porque con este se inicia el apareamiento de los compuestos responsables de los colores característicos, lo que no sucede cuando existen variaciones de las antocianinas que producen oscurecimiento en algunas frutas denominándose como cambios indeseables (Arteaga, 2014).

Esta relación entre el color y la maduración es en lo que radica la importancia de determinar dicho parámetro, ya que se ve reflejado en todas las etapas cosecha, post cosecha y en la comercialización. Además se puede determinar el color usando cartas pero los resultados obtenidos dependerán de la visión del operario por lo que estará sujeta a muchos errores, o también mediante métodos estandarizados como por la colorimetría triestímulo que muestra respuestas reproducibles (Artigas et al., 2002).

Dicha cuantificación resulta ser con frecuencia una importante consideración al determinar la eficacia de una variedad de tratamientos posteriores a la cosecha. Los consumidores pueden ser influenciados fácilmente por las ideas preconcebidas de cómo debería ser una fruta en particular, mientras que los vendedores están en busca de tratar de mejorar lo que la naturaleza ha brindado. A pesar de la importancia del color muchos investigadores continúan analizando esta característica inapropiadamente, por lo que se han definido condiciones estándar como son: el iluminante, geometría de iluminación-observación e intervalo de medida para unificar y obtener resultados objetivos y comparables (McGuire, 1992).

La colorimetría triestímulo es otra opción que puede ser utilizada para determinar el color de las frutas como indicativo de calidad. El uso del estímulo cromático está caracterizado por el método propuesto por la Comisión Internacional de Iluminación (CIE  $L^*a^*b^*$ ). Este modelo tridimensional se representa en coordenadas rectangulares como: luminosidad ( $L^*$ ) y cromaticidad ( $a^*$  y  $b^*$ ), donde los componentes  $a^*$  (verde a rojo) van desde ( $-a^*$ ) hasta ( $+a$ ) y  $b^*$  (azul a amarillo) va desde ( $-b$ ) a ( $+b$ ). Las coordenadas triestímulo del espacio se relacionan con parámetros psicométricos como tono, luminosidad y saturación que se miden con instrumentos como colorímetros y espectrofotómetros y por medio de cálculos generan valores triestímulo sin alterar las características del alimento y de una manera no destructiva, a través de sensaciones psicométricas.

El tono es un atributo cualitativo que nos permite la clasificación del color en rojo, amarillo, verde o azul y se relaciona con la absorbancia/transmitancia a diferentes longitudes de onda. Mientras que la saturación es de índole cuantitativa y se conoce como el grado de intensidad para que un color se acerque a uno puro. Cuando se separa del gris, corresponde a la transmisión. En cambio la luminosidad es una medida relativa de la luz reflejada con respecto a la absorbida, permite clasificar en claro u oscuro a un color y va desde blanco al negro con una máxima luminosidad de 100 y una mínima luminosidad de 0 (McGuire, 1992).

### **Medida del color**

Puede ser de manera visual o instrumental. La visual mediante cartas de

color que tienen todos los tonos e intensidades, y de forma instrumental usando un colorímetro. Para esto la muestra se ilumina y mediante una sonda óptica se mide la luz reflejada desde el material empleando sensores, es decir simula al ojo humano, pero con mayor precisión (González, 2010).

Para el uso del aparato se requiere que esté previamente calibrado, además se debe tomar en cuenta que en frutas de tonalidades rojas se hacen las mediciones en las zonas más y menos coloreadas, lo que no sucede en variedades verdes y amarillas, donde se recomienda medir en varios puntos y posteriormente obtener la media (Nirmal et al., 2012).

Para el color externo se toma en varios lugares alrededor del centro y en la parte superior e inferior. Para la pulpa se definen previamente diferentes sitios. Se registra los valores de los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  y se calcula el croma (c) y el tono (h) usando las siguientes ecuaciones:

$$C_{ab}^* = (a^{*2} + b^{*2})^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$h_{ab} = \tan^{-1}(b^*/a^*) \text{ cuando } a^* > 0 \text{ y } b^* = 0 \quad (2)$$

$$h_{ab} = 180 + \tan^{-1}(b^*/a^*) \text{ cuando } a^* \leq 0 \quad (3)$$

#### 4.3.4. Grados Brix o cantidad de sólidos solubles

La escala Brix se destina para medir la cantidad de sólidos solubles presentes en zumos de frutas, vino o bebidas procesadas. Éstos determinan el contenido de sacarosa disuelta en un líquido, siendo un grado Brix el índice de refracción que da una disolución del 1% de sacarosa (Gil, 2010).

La importancia de analizar dicho indicador permite realizar un seguimiento *in situ* del grado de maduración y del momento óptimo de recolección del fruto (Gil, 2010).

Los sólidos solubles se componen por azúcares, sales, ácidos y otros compuestos solubles en agua que forman parte del jugo. En donde los más abundantes son los azúcares y los ácidos orgánicos presentes en el interior de la fruta (ver Tabla 4), ya que existe una diferente concentración con respecto a la parte externa, por eso para conseguir un valor representativo se procede a licuar y filtrar la muestra, de esta manera se obtiene el zumo que se medirá con el refractómetro (Domene y Rodríguez, 2014).

El refractómetro que es un aparato que cuantifica la refracción, que consiste en la variación de medios con distinto índice de propagación en función del cambio de dirección que experimenta un rayo de luz (Domene y Rodríguez, 2014).

Los factores que afectan el índice de refracción y por ende la medición son: la temperatura, presión y longitud de onda, en los que el incremento de ellos provoca que disminuya la densidad y como consecuencia también lo hace el índice de refracción (Muñoz y Vega, 2014).

### **Medida de los grados Brix**

Con equipos de tipo digital y manual, su modo de operación es sencillo, preciso y se puede realizar el ensayo tanto en el laboratorio como *in situ*.

En el refractómetro digital se coloca unas gotas de agua destilada (blanco) en el lente, se encera, se limpia y se introducen gotas del zumo de la muestra para determinar los grados Brix, obteniendo el resultado en la pantalla. A diferencia del equipo manual donde se sitúan las gotas en el prisma, se tapa y se orienta la luz girando el ocular hasta que se logre observar la interfase entre el límite claro/oscuro en el cual se toma la lectura (Muñoz y Vega, 2014).

#### **4.4. TÉCNICAS ESPECTROSCÓPICAS PARA DETERMINAR LA CALIDAD EN FRUTAS**

La espectroscopía es un conjunto de técnicas instrumentales basadas en la interacción de la radiación electromagnética con la materia, permitiendo la elucidación estructural de una molécula (Martelo, 2014).

Se conoce como radiación electromagnética a una forma de energía con propiedades de onda y de partícula que atraviesa un medio a gran velocidad y cuando esta radiación incide sobre una molécula la frecuencia cuya energía es igual a la diferencia de energía de dos estados (fundamental y excitado) es absorbida (Carey, 2006).

Esta radiación consta de una longitud de onda, una frecuencia y una amplitud, donde la longitud de onda se conoce como la distancia entre una onda y otra, la frecuencia es la cantidad de veces que una onda pasa por un punto fijo y la amplitud es la altura de una onda (Skoog et al., 2008).

Su modo de operación radica en irradiar una muestra con una fuente de luz y medir la cantidad de luz absorbida, transmitida o reflejada por el compuesto en función de su longitud de onda o frecuencia, mismas señales que son detectadas y posteriormente registradas en un gráfico o en un espectro (Wade, 2012).

Al conjunto de radiaciones se le denomina espectro electromagnético (ver Figura 3) que consiste en un intervalo continuo de longitudes de onda, frecuencias y energías dividido en regiones que va desde las ondas de radio hasta los rayos

gamma (Mc Murry, 2012).

En el espectro electromagnético la región ultravioleta lejana se encuentra entre 10 y 200 nm, la región ultravioleta cercana 200-400 nm en el que se dan transiciones electrónicas de los enlaces peptídicos de los aminoácidos aromáticos (proteínas y vitaminas). El visible de 400-780 nm en el cual se producen transiciones electrónicas que absorben sistemas de electrones  $\pi$  conjugados como clorofilas y carotenoides. A continuación, la región infrarrojo cercano entre 780-2500 nm, el infrarrojo medio en 2500-25000 nm que permiten determinar estructura y conformación de moléculas orgánicas como proteínas, polisacáridos, lípidos (Lourenco et al., 2012).

En los estudios de investigación recientes están empleando las técnicas espectroscópicas como la Ultravioleta-Visible (UV-Vis) y Espectroscopía de Reflectancia en el Infrarrojo Cercano (NIRS) por sus grandes ventajas frente a las tradicionales, obteniéndose resultados en menor tiempo con mejor correlación con las características organolépticas y analizando de forma simultánea uno o más indicadores. Estos métodos asimismo se pueden aplicar paralelamente a las medidas convencionales para comparar de modo objetivo (Millán y Ciro, 2012).

Las técnicas espectroscópicas constituyen una poderosa herramienta que permite monitorear la calidad de la fruta y aunque su uso no está generalizado han demostrado un alto potencial en la predicción de éstos atributos en los alimentos (Saavedra et al., 2015).

## **Instrumentación**

En cuanto a la instrumentación se utilizan espectrofotómetros (UV-Vis, NIR) para medir la absorción o emisión de la radiación electromagnética. Los principales componentes de los equipos son: fuente de energía, monocromador, contenedor de la muestra, detector, sistema amplificador y un sistema de lectura que transforme la señal eléctrica en una que se pueda interpretar. Para UV, VIS y NIR los principios ópticos y electrónicos son similares con variaciones en ciertos componentes específicos de cada técnica (Skoog et al., 2008).

### **4.4.1. Espectroscopia ultravioleta visible**

La espectroscopía UV-Vis es una técnica sencilla que es muy utilizada en el análisis cuantitativo, basada en la absorción de la radiación ultravioleta visible en la región de 200-780 nm, depende de transiciones electrónicas entre niveles de energía y proporciona información acerca del tipo y de la naturaleza electrónica de los enlaces de la moléculas analizadas, identificando sistemas de electrones  $\pi$  conjugados (Lourenco et al., 2012).

Los dobles enlaces aislados, triples enlaces y enlaces peptídicos se absorben en la región del UV; en cambio en la región VIS se aprecia el color correspondiente a las longitudes de la luz que se transmiten, es decir, el color absorbido es el complementario del color transmitido como observa en la Tabla 5 (Kumirska et al., 2010).

Cuando se irradia una molécula orgánica con energía electromagnética la radiación es absorbida dependiendo de su energía, en el caso de la radiación UV la energía absorbida es aquella capaz de promover o excitar un electrón desde un orbital a otro. La radiación con longitud de onda superior a 200 nm no afecta a los enlaces sigma de gran estabilidad, pero por el contrario los electrones de los enlaces  $\pi$  pueden ser excitados fácilmente a orbitales de mayor energía (Carey, 2006).

Los sistemas conjugados poseen orbitales libres de baja energía en los que se produce la absorción durante las transiciones electrónicas. Se denomina al orbital enlazante (HOMO) y al antienlazante (LUMO), donde el fotón con la energía adecuada es capaz de excitar un electrón de un orbital de mayor energía a uno de menor energía HOMO-LUMO, lo que se conoce como transiciones del tipo  $\pi \rightarrow \pi^*$  y  $n \rightarrow \pi^*$  dependiendo de los sustituyentes y el grado de conjugación, lo que causa un desplazamiento en la longitud onda máxima. Al aumentar el número de conjugaciones esta diferencia (HOMO-LUMO) se reduce (Carey, 2006).

La absorbancia obedece a la ley de Lambert-Beer, se define como el logaritmo de la relación entre el haz de referencia ( $I_r$ ) y el haz de la muestra ( $I_m$ ), lo que es igual a la absortividad molar por la concentración y la longitud del paso óptico (Skoog et al., 2008).

$$A = \left( \frac{I_r}{I_m} \right) = \epsilon cl \quad (5)$$

### **Análisis en UV-Vis**

Antes de analizar la muestra en el equipo de ultravioleta (UV-visible) se necesita un proceso de preparación en el que se debe disolver la muestra en etanol o en un disolvente que absorba en longitudes de onda menores a 200 nm. Para esto se procede a enjuagar la celda con el disolvente que se usará. Luego se coloca la muestra en una celda de cuarzo y el disolvente en una celda de referencia para comparar la cantidad de luz transmitida por el haz de la muestra con la del haz de referencia (Wade, 2012).

En el espectrofotómetro se tiene una fuente de luz que emite en todas las frecuencias, donde se utiliza una de deuterio para el UV y de tungsteno para el VIS. La luz pasa por un monocromador en el que se dispersa mediante un prisma y se selecciona una longitud de onda. Esta longitud a su vez se divide en un haz de la celda de muestra y en un haz de la celda de referencia de los cuales la relación entre estos dos es medida por el detector ( $I_r/I_m > 0$  cuando existe absorción) y registrada en un espectro que es un gráfico de absorbancia de la muestra en función de la longitud de onda (Wade, 2012).

Para analizar color en la uvilla Llerena (2014) utilizó colorimetría triestímulo y espectroscopía UV-Vis. En el primero obtuvo el zumo de fruta fresca y midió los parámetros de color con el equipo (Color Tec-PCM) (ver Figura 5). En el segundo las muestras fueron sometidas a liofilización, posteriormente siguió los métodos de: pH diferencial (510 y 700 nm) para el contenido de antocianinas y Sze e Indrawati (450 nm) para cantidad de

carotenoides. En este estudio en particular se comprobó que el contenido de antocianinas es inferior al límite de detección del instrumento y se confirmó que los carotenoides son los responsables del color amarillo y anaranjado de la uvilla, demostrándose una correlación entre el color y la composición mediante la construcción de modelos matemáticos que relacionan dichas variables (Llerena, 2014).

Entre las ventajas de esta técnica tenemos: rápida recogida de espectros (< 5 min), sencilla, precisa, de fácil operación, requiere poca o nula preparación de muestra, los resultados obtenidos son reproducibles, tiene buena sensibilidad y selectividad, con límites de detección de  $10^{-4}$  y  $10^{-5}$  M, posee accesibilidad a una base de datos, se pueden identificar compuestos orgánicos e inorgánicos motivo por el cual goza una gran aplicabilidad ya que algunas especies absorben en esta región (Pérez, 2003).

En las frutas permite la determinación de componentes bioactivos como los antioxidantes: polifenoles, carotenoides, flavonoides y clorofilas, ya que al conocer la concentración de ellos en el interior de la fruta se puede hacer una relación con el estado de madurez y por ende con su calidad.

En las desventajas se encuentran: baja especificidad, requiere de calibraciones frecuentes, usa lámparas específicas según la longitud de onda, además puede presentar ruido en las fuentes y los detectores (Pérez, 2003; Skoog et al., 2008).

#### 4.4.2. Espectroscopía de reflectancia infrarrojo cercano

Proporciona información de grupos funcionales debidas a las vibraciones moleculares, ya que los fotones de luz infrarrojo pueden hacer que grupos de átomos vibren respecto a los enlaces que los conectan, es decir cuando la luz incide en la muestra los fotones se transmiten por medio de la misma y el resto se absorbe por enlaces covalentes acoplados con la longitud de onda exacta de la radiación de la luz (Martelo, 2014).

Este apartado se centra en el infrarrojo cercano que se basa en la emisión de un haz de luz sobre la muestra y es en ese tiempo que la molécula experimenta un cambio en el momento dipolar cuando absorbe radiación infrarroja debida a los sobretonos y bandas de combinación de las vibraciones fundamentales de las moléculas, provocando que el campo eléctrico asociado a la radiación interaccione con el campo eléctrico originado por la variación del momento dipolar de la molécula, haciendo que cambie la amplitud de la vibración y por ende se absorba la radiación (Dufour, 2009; Xu et al.,2013).

Las bandas más frecuentes en el infrarrojo cercano son de tipo -CH, -NH y -OH, -SH y C-O debido a su anarmonicidad, en cambio bandas de grupos C=O, C-C, C-F, C-Cl son muy débiles y no se detectan en el NIR. Por este motivo y debido a que los alimentos son moléculas complejas resultado de la polimerización de aminoácidos o monosacáridos esta técnica puede ser utilizada para detectar específicamente algunos grupos químicos (Dufour, 2009; Stuart, 2004).

Al absorberse energía se puede distinguir dos tipos de vibraciones de los enlaces: tensión y flexión, las primeras se dan a frecuencias más altas por cambios en la distancia interatómica y las otras a frecuencias menores por variaciones en el ángulo de enlace, dependiendo de los grupos presentes en la muestra, en donde la estimación de la absorción de luz se mide por la diferencia entre la luz incidente y la transmitida (Alomar y Fuchslocher 1998).

Al igual que la técnica de UV-VIS, la espectroscopía NIR se fundamenta en la ley de Lambert-Beer en la que se establece que la absorbancia de la longitud de onda es proporcional a la concentración (Skoog et al., 2008).

- **Análisis en NIRS**

En lo que respecta al análisis de muestra no se requiere de pretratamiento y gracias a esto se ha permitido obtener los espectros sólo seleccionando el modo (ver Figura 4: reflectancia (sólidos), transmitancia (líquidos) y transflectancia (emulsiones), simplemente en muestras sólidas se necesita que sean homogéneas con un tamaño de partícula de 1 mm aproximadamente (Jiménez, 2010).

El espectro NIR es el resultado de diferentes sobretonos, bandas de combinación y absorciones electrónicas de radiación de los grupos funcionales presentes en el compuesto a analizar y específico para cada muestra. Se basa en los valores de absorbancia a las distintas longitudes de onda, donde los cambios en la respuesta son proporcionales a las variaciones en la concentración de los componentes presentes en la muestra (Peguero, 2010;

Workman y Shenk, 2004).

En lo que se refiere a las frutas con la espectroscopía NIR se determina la cantidad de azúcares y acidez, puesto que son los parámetros que más contribuyen con el sabor y se utilizan como índices de calidad. La firmeza esta siendo actualmente sujeto de investigación a través del desarrollo de modelos matemáticos de predicción.

Flores y su grupo de investigadores (2008) en una publicación analizaron la viabilidad del uso de la tecnología NIRS en el control de calidad de tomate usando como índices de madurez el contenido de sólidos solubles y la acidez, para esto se recolectaron frutos en dos años consecutivos, seguido de eso se tomaron datos referenciales por los métodos convencionales para la calibración y validación (ver Figuras 6). Una vez que obtuvo el coeficiente de correlación procedió al análisis en dos equipos UV-NIR, el primero con monocromador (516-2200 nm) y el segundo de red de diodos (515-1650 nm) en los que se irradió la muestra intacta en lugares diferentes y obtuvo un espectro en el que se pudo visualizar las bandas de los compuestos responsables de los atributos mencionados. En ambos equipos los picos fueron: 680 nm banda de la clorofila, en 970, 1450 y 1930 nm bandas del agua y en 1200 nm picos relacionadas con los azúcares. Los autores concluyeron que la tecnología NIRS permite la cuantificación de sólidos solubles y acidez titulable mediante el uso de algoritmos matemáticos al relacionar la composición química y propiedades organolépticas.

Debido a que la firmeza es otro aspecto que define la calidad, Lafuente y sus colaboradores (2012) realizaron una investigación en el melocotón para la predicción de este parámetro, usando el método convencional de Magness Taylor y aplicando un software sofisticado con análisis de mínimos cuadrados parciales en el que obtuvieron una correlación entre el espectro de reflectancia visible-infrarrojo (310-1145 nm) y las medidas de firmeza consiguiendo una ecuación de calibración (ver Tabla 6) que podría en un futuro sustituir la penetrometría y establecer el momento óptimo de cosecha de esta fruta.

Entre las ventajas de esta técnica es: una herramienta útil en la determinación cuantitativa, posee alta precisión, exactitud, no destruye la muestra, es rápida, con baja absorptividad molar, requiere poca o nula preparación de muestra, es de bajo costo analítico por muestra, alta reproducibilidad y repetividad.

Es una tecnología limpia que no produce residuos, brinda información de interacciones entre moléculas como puentes de hidrógeno, sirve para diferenciar aminas primarias y secundarias de aminas terciarias además de la determinación de proteínas, humedad, almidón, aceites, lípidos y celulosa.

La penetración de radiación es mayor debido a que el grado de absorción es más débil que en el infrarrojo medio, por lo que se pueden analizar muestras más gruesas en modo de transmitancia (Smyth y Cozzolino, 2012; Oliveira, 2006).

Otra de las ventajas que cabe destacar es que se adapta a las exigencias de la industria alimenticia mediante la inspección no destructiva del interior de la fruta para evaluar la calidad. Por ejemplo permite determinar el contenido de sólidos solubles parámetro responsable del sabor y se relaciona con el grado de madurez en las frutas por lo que constituye un factor de mucha importancia pues influye en la aceptación o el rechazo del consumidor (Flores et al., 2009).

Entre las desventajas tenemos solapamiento de sobretonos y bandas de combinación, instrumentación específica y alto costo de implantación, personal especializado y con experiencia para la interpretación de datos, requiere de calibración por método convencional (método de medida secundario), el mismo que es complejo por el algoritmo que se necesita (Jiménez, 2007; Carvajal, 2012).

#### 4.5. DISCUSIÓN

Se puede utilizar conjuntamente la espectroscopía UV-Vis y la colorimetría triestímulo para predecir el grado de madurez de acuerdo a las tonalidades que presente la muestra analizada.

El cambio de color es causado por la disminución de la clorofila y la síntesis de pigmentos carotenoides y fenólicos (antocianinas, flavonoides). Éstos compuestos pueden afectarse por la exposición a la luz, oxígeno y cambios de temperatura por lo que es indispensable preparar la muestra inmediatamente y luego someter a liofilización.

El ablandamiento de los tejidos varía de acuerdo a la especie y variedad de los frutos como consecuencia de la degradación de las pectinas y hemicelulosas de la pared celular por la acción de enzimas. Esta variación determina la firmeza para la cual se siguen usando las técnicas convencionales, únicamente con ciertas modificaciones en los equipos pero manteniendo el mismo principio. Aunque recientemente se está estudiando la posibilidad de sustituir la técnica convencional por la tecnología NIRS, siendo una herramienta muy prometedora en el futuro para el análisis in situ sin destrucción de la muestra y de manera simultánea.

La acidez titulable y la cantidad de azúcares se obtienen tanto por métodos convencionales como con la aplicación de NIRS, que consiente un

análisis más específico ya que se establece una conexión entre la estructura de los compuestos y sus propiedades organolépticas.

En algunas industrias alimenticias y centros de investigación se han establecido cartas comerciales divididas en etapas de maduración según el tipo de fruta específica, ya que previamente se ha realizado un análisis multivariable o colorimétrico del cual se han obtenido dichas expresiones cromáticas.

Se buscan técnicas que eviten pasos previos como es el caso de NIRS que relaciona la composición química del alimento con el contenido de azúcares, ácidos, antocianinas y carotenoides, pero que a su vez usa como datos referenciales, en la calibración, a los obtenidos por métodos tradicionales. Es decir todas las técnicas pueden complementarse con el fin de dar mejores resultados que garanticen la calidad.

Las técnicas revisadas en el presente trabajo son efectivas para determinar índices de calidad. La toma de decisión acerca de cuál usar depende de la necesidad y de los medios económicos y de infraestructura.

## 5. CONCLUSIONES

Después de realizar la presente revisión bibliográfica se han establecido las siguientes conclusiones:

1. La calidad es una percepción sensorial compleja. Éste atributo debe cumplir con ciertos criterios como: apariencia, sabor, valor nutritivo y seguridad, con el fin de satisfacer o superar las expectativas del cliente. En las frutas estas propiedades se encuentran relacionadas con factores como el tamaño, forma, color, sabor, textura, firmeza, mismos que definen y garantizan el cumplimiento de este parámetro.

2. Los indicadores físico-químicos ampliamente usados son: firmeza, acidez, color y medición de sólidos solubles; los cuales pueden ser determinados por métodos convencionales como: penetrometría, volumetría, colorimetría y refractometría; y por técnicas espectroscópicas como: UV-Vis y NIRS, siendo todas estas metodologías complementarias para encontrar una mejor correlación con la calidad de la fruta.

3. Los métodos tradicionales son de empleo práctico, sencillos y sus resultados se obtienen en poco tiempo, sin embargo la correlación con la calidad suele ser subjetiva, por lo que se requiere utilizar varios indicadores conjuntamente para garantizar un control adecuado.

4. La espectroscopía UV-Vis en lo que respecta a la calidad se utiliza como una herramienta para determinar compuestos como antioxidantes: polifenoles,

carotenoides, flavonoides y clorofilas, mismos que pueden ser relacionados con el grado de madurez de la fruta.

5. La espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano es una tecnología viable en la caracterización de frutas ya que define la calidad, puesto que permite determinar la concentración de sólidos solubles totales y acidez, indicadores que están relacionados con propiedades organolépticas del sabor.

6. Las principales ventajas que presentan las técnicas espectroscópicas son: se requiere poca o nula preparación de muestra, tiempo de análisis reducido en comparación con técnicas convencionales, además de brindar resultados confiables y ser complementarias entre sí. Por todos estos motivos pueden ser aplicadas en los laboratorios para la medición de calidad en frutas.

7. Las técnicas que más se manejan en el país son las convencionales y la Espectroscopía UV-Vis. NIRS aún no se ha implementado debido a los precios elevados de los equipos, pero en otros lugares está siendo usada en estudios de investigación, donde ha presentado resultados válidos en la evaluación de la calidad de los alimentos.

8. La selección de las técnicas es en función de la información requerida, instrumentación, costos y requerimientos del mercado, siempre apegados al cumplimiento de normas que garanticen un producto de alta calidad, competitivo y rentable.

## 6. RECOMENDACIONES

- Si se requiere un análisis específico en investigación para conocer la composición química de la fruta se sugiere la implementación de las técnicas espectroscópicas. Pero si no es el caso y solamente se quiere conocer el grado de madurez o predecir la fecha adecuada de cosecha se recomienda el uso de técnicas convencionales que brindan respuestas certeras.
- Se recomienda a los productores de fruta brindar mayor información acerca de la calidad de sus productos en cuanto al cumplimiento de la normativa.
- Se sugiere al Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) convocar a comités técnicos para actualización de la norma de frutas frescas con el objetivo de unificar los parámetros que definen la calidad.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alomar, D., Fuchslocher, R. **Fundamentos de la espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) como método de análisis de forrajes**. Agro sur [en línea]: 26(1) p. 88-104, 1998. Disponible en: [http://mingaonline.uach.cl/scielo.php?pid=S030488021998000100011&script=sci\\_arttext](http://mingaonline.uach.cl/scielo.php?pid=S030488021998000100011&script=sci_arttext) 1998 ISSN 0304-8802.
- Aranceta, J., y Pérez, C. **Frutas, verduras y salud**. 1ra.ed. Barcelona: Masson S.A., 2006. 187 p.
- Arteaga, M. **Relación del desarrollo del color con el contenido de antocianinas y clorofilas en diferentes grados de madurez del mortiño (Vaccinium floribundum)**. Disertación (Ingeniería en alimentos). Quito, Ecuador, Universidad Técnica Equinoccial, 2014, 71p.
- Artigas, J., Capilla, P., y Pujol, J. **Tecnología del color**. 1ra ed. Valencia: Universidad de Valencia, 2002, pp. 15-2
- Bautista, P., Juárez, N., y Pérez, M. Color y estado de madurez del fruto de tomate de cáscara. **Agronomía Mesoamericana**: 27(1), pp. 116-129, 2016
- Carey, F. **Química Orgánica**, 6ta. Ed. Madrid: Mc Graw Hill, 2006, pp. 529-531, 570-572.
- Carvajal, G. **Evaluación de las pérdidas poscosecha tanto físicas y de calidad en el sistema de producción agrícola del cadet. Tumbaco, Pichincha**. Tesis (Ingeniera Agrónoma). Quito, Ecuador, Universidad Central del Ecuador, 2012, 132 p.
- Carvajal, G. **Evaluación de las pérdidas poscosecha tanto físicas y de calidad en el sistema de producción agrícola del cadet. Tumbaco, Pichincha**. Tesis (Ingeniera Agrónoma). Quito, Ecuador, Universidad Central del Ecuador, 2012, 132 p.
- Casp, A. **Tecnología de los alimentos de origen vegetal**. 1ra. Ed. Madrid: Editorial Síntesis S.A, 2014, pp. 15-23
- Castillo, M. **Aplicación de la Espectroscopia NIR al Control Analítico de Procesos de la Industria Química**. Tesis (Doctor en Química). Bellaterra, Universidad Autónoma de Barcelona, 2007, 173p. Chamberlain, N. **The**

- practice of NMR Spectroscopy**. 6ta. ed. Texas: Plenum Press, 2005, pp. 3-25
- Castro, K. **Tecnología de Alimentos**. 1ra. Ed. Bogotá: Ediciones de la U, 2011, pp. 69-73
- Crisosto, C., Mitchell, F. **Factores precosecha que afectan la calidad de frutas y hortalizas**, 3ra. Ed. California: University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, 2007, pp. 55-62
- Cueva, R. **Aplicación de la Espectroscopía NIR para la determinación de parámetros críticos en la fabricación de comprimidos en la industria farmacéutica**. Tesis (Doctor en Química). Bellaterra, Universidad Autónoma de Barcelona, 2012, 189 p.
- Diezma, B., Marañón, A., Ruiz, M., Flores, L., y Diez, J. **Firmeza de la fruta: determinación por métodos no destructivos**. Madrid. Copyright ediciones de Horticultura, 2001, pp 1-7
- Domene, M., Rodríguez, M. **Parámetros de calidad externa en la industria agroalimentaria** [en línea]: 1(3), pp. 1-18, 2014. [Fecha de consulta: 17 de mayo del 2016]. Disponible en: <http://www.fundacioncajamar.es/pdf/bd/comun/transferecia/003-calidad-externa-1401191044.pdf>
- Domene, M., Rodríguez, M. **Parámetros de calidad interna en hortalizas y frutas en la industria agroalimentaria** [en línea]: 1(5), pp. 1-18, 2014. [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2016]. Disponible en: <http://www.fundacioncajamar.es/pdf/bd/comun/transferecia/005-calidad-interna-1410512030.pdf> ISSN 10512030
- Dufour, E. Principles of infrared spectroscopy. In D. Sun (Ed.) **near infrared spectroscopy for food quality analysis and control**. New York USA, Academy Press- Elsevier: 1(0), pp. 1-27, 2009.
- FDA. La irradiación de alimentos. EE.UU., 2012, pp. 1-2. Disponible en: <http://www.fda.gov/downloads/Food/IngredientsPackagingLabeling/UCM262298.pdf>
- Feippe, A. **Evaluación de la madurez de manzana sobre la base del contenido y degradación de almidón (Test de yodo)**, 2003.
- Flores, K. **Determinación no destructiva de parámetros de calidad de frutas y hortalizas mediante espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano**. Tesis Ph.D. Córdoba: ES, UCO, 2009, 182p.

- Flores, K., Sánchez, M., Pérez, D., Guerreo, E., Garrido. Feasibility in NIRS instruments for predicting internal quality in intact tomato. **Journal of Food Engineering** 91 (1), pp. 311–318, 2008.
- Gil, A., **Tratado de Nutrición: Composición y Calidad Nutritiva de los Alimentos**, 2da. Ed. Buenos Aires: Médica Panamericana, 2010, pp.168-179
- González, I. **Caracterización química del color de diferentes variedades de guayaba (Psidium guajava L.) colombiana**. Tesis (Magíster en Ciencias Químicas). Bogotá, Colombia, Universidad Nacional de Colombia, 2010, 73 p.
- Gordón, J. **Propuesta de mejoramiento de manejo poscosecha en hortalizas producidas en un sistema campesino asociativo**. Tesis Ing. Agroindustrial. Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2010, 136 p.
- Jiménez, P. **Identificación de harina de yuca (Manihot esculenta Crantz) con alto contenido proteico mediante espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS)**. Disertación (Maestría en Ciencias Agrarias). Palmira, Universidad Nacional de Colombia, 2007, 65 p
- Kader, A. **Biología y tecnología poscosecha**, 3ra. Ed. California: University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, 2007, pp. 43-54
- Kumirska, J., Czerwicka, M., Kaczynski, Z., Bychowska, A., Brzozowski, K., Thoeming, J., y Stepnowski, P. **Application of spectroscopic methods for structural analysis of chitin and chitosan**. *Marine Drugs*, 8(5), pp.1567-1636, 2010.
- Lacey, K., McCarthy, A., y Foord, G. **Maturity testing of citrus**. *Agriculture Western Australia. Farmmote* 3 (1), 2000.
- Lafuente Rosales, V., Val Falcón, J., y Negueruela Suberviola, Á. I. **Predicción de firmeza en melocotón “cv Calrico” mediante espectroscopia de infrarrojo cercano**, 2012.
- Llerena, W. **Estudio de la relación entre el color y el contenido de antioxidantes de seis frutas tropicales y andinas: Arazá (Eugenia stipitata), Mora (Rubus glaucus) variedad Iniap Andimora 2013, Mortiño (Vaccinium floribundum Kunth), Naranjilla (Solanum quitoense) variedad Iniap Quitoense 2009, Tomate de árbol (Solanum betaceum Cav.) variedad Anaranjado Gigante y Uvilla (Physalis peruviana L.) variedad Golden Keniana**. Tesis (Ingeniería de Alimentos). Ambato, Universidad Técnica de Ambato, 2014, 277p

- López, A. **Calidad en frutas y hortalizas**. INTA Estación Experimental Balcarce [en línea]: 5(3), pp. 60-75, 2010.
- López, C. **Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas**. Del campo al mercado. Boletín de Servicios Agrícolas FAO 151. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura (FAO) Roma, 2003. 185p
- López, S., y Serna, L. **Actualización del Manual del Laboratorio de Análisis de Alimentos del Programa de Tecnología Química de la Universidad Tecnológica de Pereira**. Tesis (Tecnología Química). Pereira, Universidad Tecnológica de Pereira, 2010, 177p
- Lourenco, N.D., López, J.A., Almeida, C.F., Sarraguca, M.C., y Pinheiro, H.M. Bioreactor monitoring with Spectroscopy and chemometrics. **Analytical and Bioanalytical Chemistry review**: 404(4), pp. 1211-1237, 2012.
- Martelo, M. **Desarrollo de métodos rápidos basados en espectroscopía UV-Vis- NIR para el análisis de vinos**. Tesis (Doctor en Química). Lugo, Universidad Santiago de Compostela, 2014, 219 p.
- Mc Murry, J. **Química Orgánica**, 8va. Ed. Canadá: Brooks/Cole, 2012. 1258 p.
- McGuire, R. G. **Reporting of objective color measurements**. HortScience, 27(12), 1992, pp. 1254-1255.
- Millán, M., y Ciro, H. **Caracterización mecánica y físico-química del banano tipo exportación (Cavendish valery)** [en línea]. Colombia: Corporación Universitaria Lasallista, 2012. Disponible en: <http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/136/1/10.%20163-192.pdf>
- Moggia, M., y Pereira, M. **Almidón y maduración de manzanas**. Boletín técnico Pomáceas, 6(3): pp. 1-4, 2006
- Muñoz, A., y Vega, J. **Determinación de sólidos solubles en alimentos**. Tesis (Ingeniería en Agroindustria). Chimbote, Perú, Universidad Nacional del Santa, 2014, 50 p
- Nirmal, K. S., József, S. S., James, S. B., Wu, M. y Cano, P. (2012). **Handbook of fruits and fruits processing**. 2da. Ed. United States.
- Oliveira, E., Valenciaga, D. **La espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) y sus potencialidades para la evaluación de forrajes**. Revista Cubana de Ciencia Agrícola [en línea]: 40(3), pp 259-267, 2006.

- Ospina Monsalve, D. M., Velásquez, C., y Aristizábal Tórres, I. D. Determination of surface fracture and firmness force in lulo fruit (*Solanum quitoense* x *Solanum hirtum*). **Revista Facultad Nacional de Agronomía**, Medellín, 60(2), pp. 4163-4178, 2007
- Peguero, A. **La espectroscopía NIR en la determinación de propiedades físicas y composición química de intermedios de producción y productos acabados. Tesis** (Doctor en Química). Barcelona, Universidad Autónoma de Barcelona, 2010, 272 p.
- Pérez, F. **Análisis de elementos-traza por espectrofotometría de absorción molecular ultravioleta visible**. San Pablo: Murcia, España, pp. 239-243, 2003.
- Rodríguez, V. **Bases de la Alimentación Humana**. 1ra. ed. España: Netbiblio, 2008, pp. 265
- Saavedra, W., Vásquez, V., y Rojas, C. Técnicas analíticas en metabolómica de alimentos. **Agroindustrial Science**: 5(1), pp 191-209, 2015
- Shenk, J.S., Westerhaus, M.O. **Analysis of Agricultural and Food Products by Near Infrared Reflectance Spectroscopy. Monograph**. NIRSystems. Inc., 1210 Tech Roda, Silver Spring, MD 20904, 2005
- Skoog, D., Crouch, S., y Holler, F. **Principios de análisis instrumental**, 5ta. Ed. Madrid: McGraw Hill, 2008.
- Slaughter, D. C. **Evaluación de métodos no destructivos para la detección de la madurez en Mangos**, 2009.
- Smyth, H., Cozoolino, D. **Instrumental methods (spectroscopy electronic nose, and tongie) as tools to predict taste and aroma in beverages: Advantages and limitations**. *Chemical Reviews*: 113(3), pp. 1429-1440, 2012.
- Stuart, B. **Infrared spectroscopy: Fundamentals and applications**. John Wiley y Sons, Ltd. England, doi: 10.1002/0470011149
- Sze, L. e Indrawati, O. Effects of processing on anthocyanins, carotenoids and vitamin C in summer fruits and vegetables. **Food Chemistry** 133(1), pp. 1577–1587, 2012.
- Valero Ubierna, C., y Ruiz-Altisent, M. **Equipos de medida de calidad organoléptica en frutas**. *Fruticultura profesional*, (95): pp. 38-45, 1998

Vazquez, C., López, C. **Alimentación y Nutrición: Manual teórico – práctico**, 2da. Ed. Madrid: Díaz de Santos, 2005, pp.111-112

Wade, L. G. **Química Orgánica**, 8va. Ed. Barcelona: Prentice Hall, Pearson Education. (12) 1. pp. 490, 669, 2012

Workman, J., Shenk, J. **Understanding and using the near- infrared spectrum as an analytical method**. Near –Infrared Spectroscopy in Agriculture Agron. Monogr.44, Madison, USA, pp. 3-10, 2004. Disponible en: <http://plantsci.missouri.edu/roberts/research/NIRmonograph.pdf>

Xu, F., Yu, J., Tesso, T., Dowell, F., y Wang, D. **Qualitative and Quantitative analysis of lignocellulosic biomass using infrared techniques**: A mini review. Applied Energy: 104 (0), pp. 801-809, 2013. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.12.01>.

## 8. FIGURAS

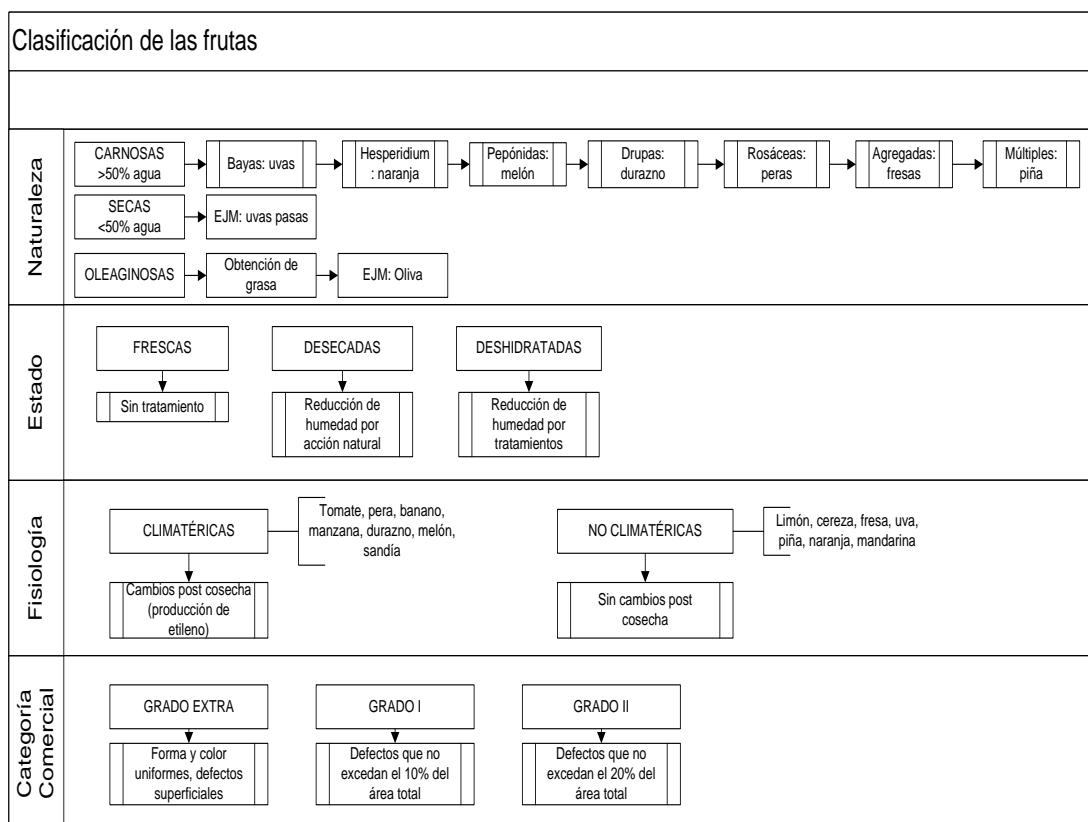


Figura 1. Clasificación de las frutas por su naturaleza, estado, fisiología y categoría comercial (Rodríguez, 2008).

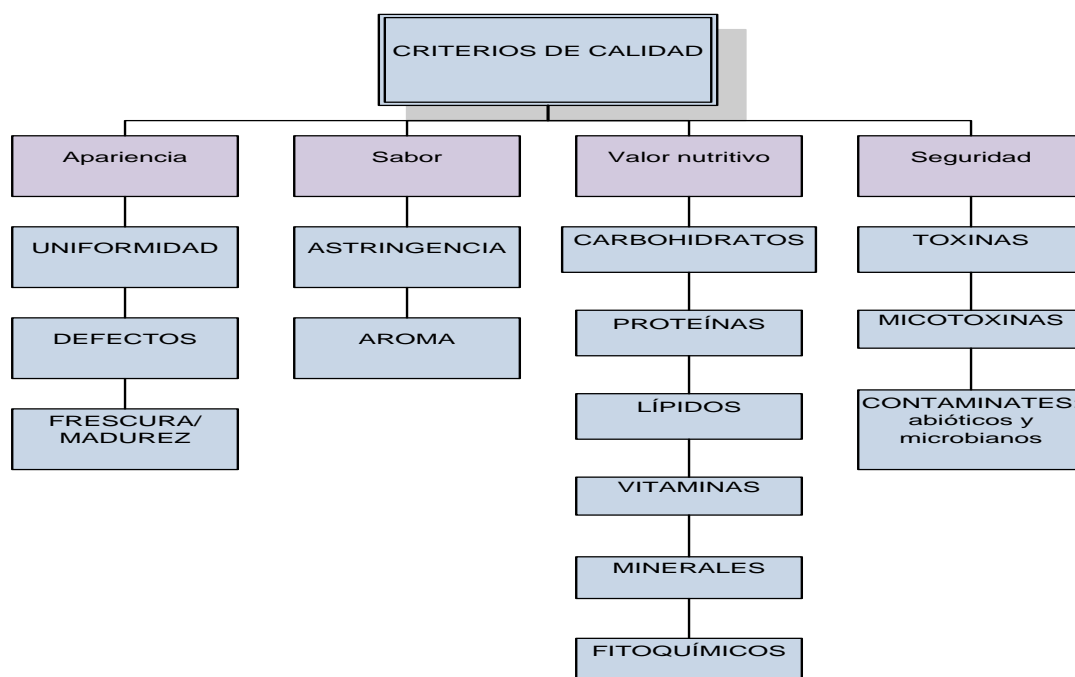


Figura 2. Criterios de calidad: apariencia, sabor, valor nutritivo y seguridad (López, 2010)

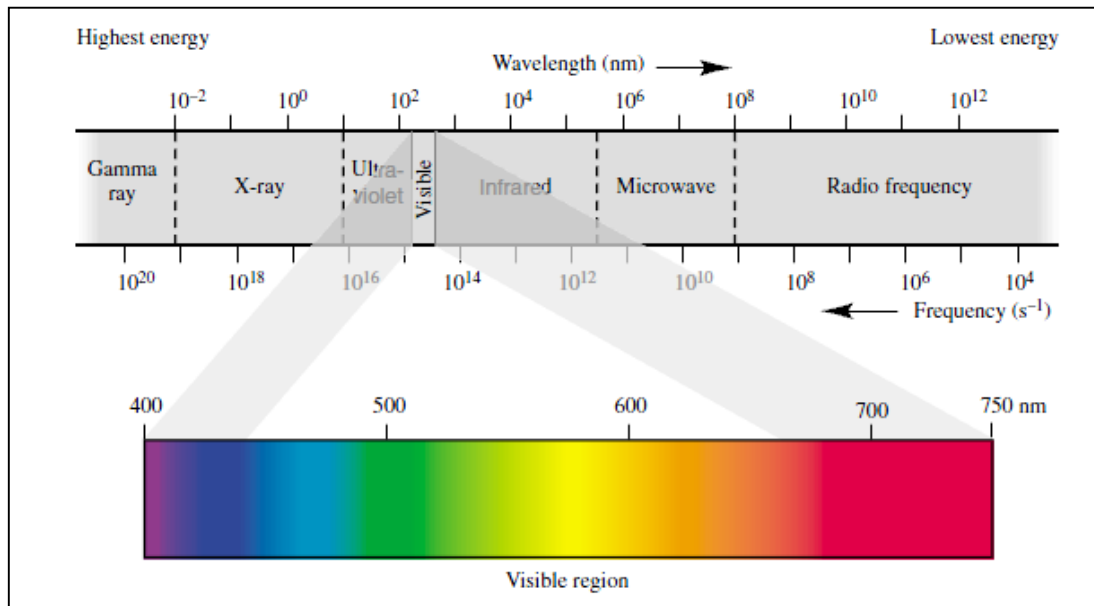


Figura 3. Espectro electromagnético: Los rayos X producen ionización, los efectos de UV- Vis transiciones electrónicas, el infrarrojo produce vibraciones moleculares, las microondas movimientos rotacionales y las frecuencias de radio transiciones de espín nuclear (Carey, 2006).

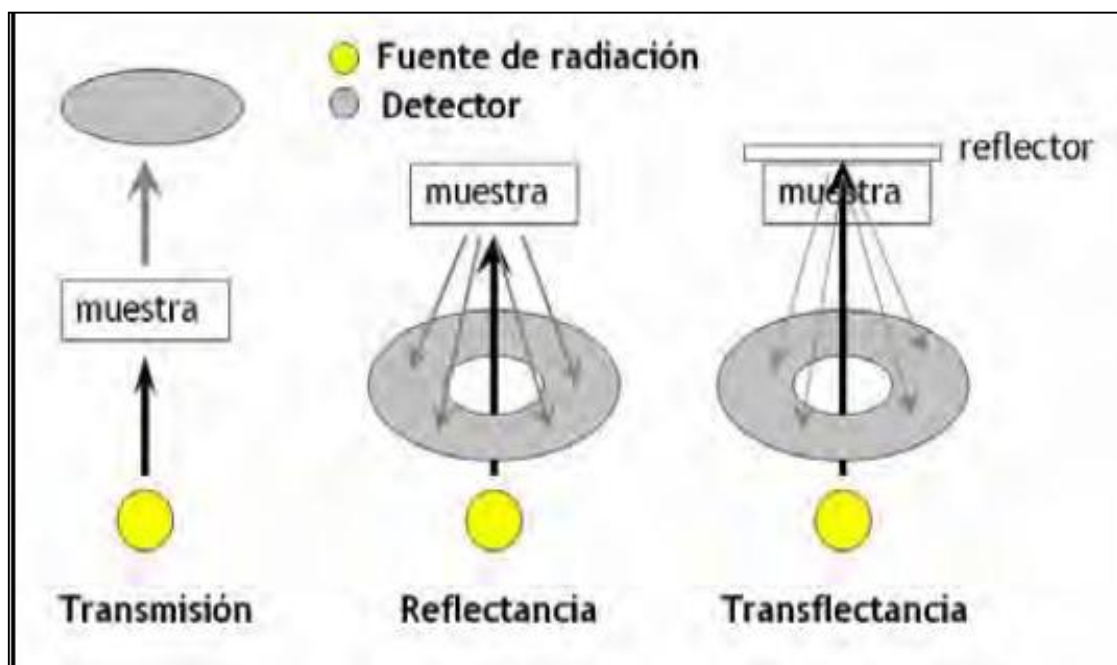


Figura 4. Modalidades de operación de espectroscopía NIR. Transmisión (líquidos), reflectancia (sólidos) y transflectancia (emulsiones) (Jiménez, 2010).

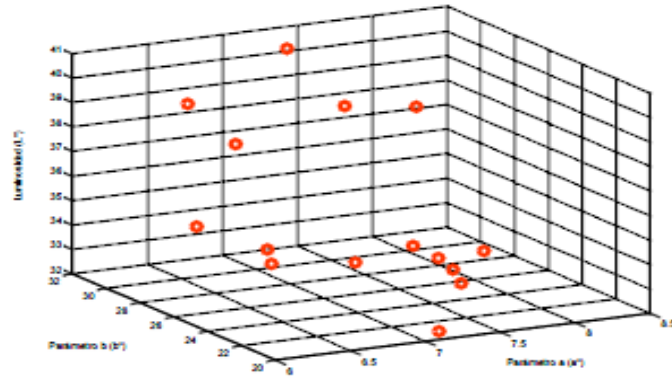


Figura 5. Coordenadas de color en uvilla: Luminosidad, parámetro  $a^*$  y parámetro  $b^*$  (Llerena, 2014).

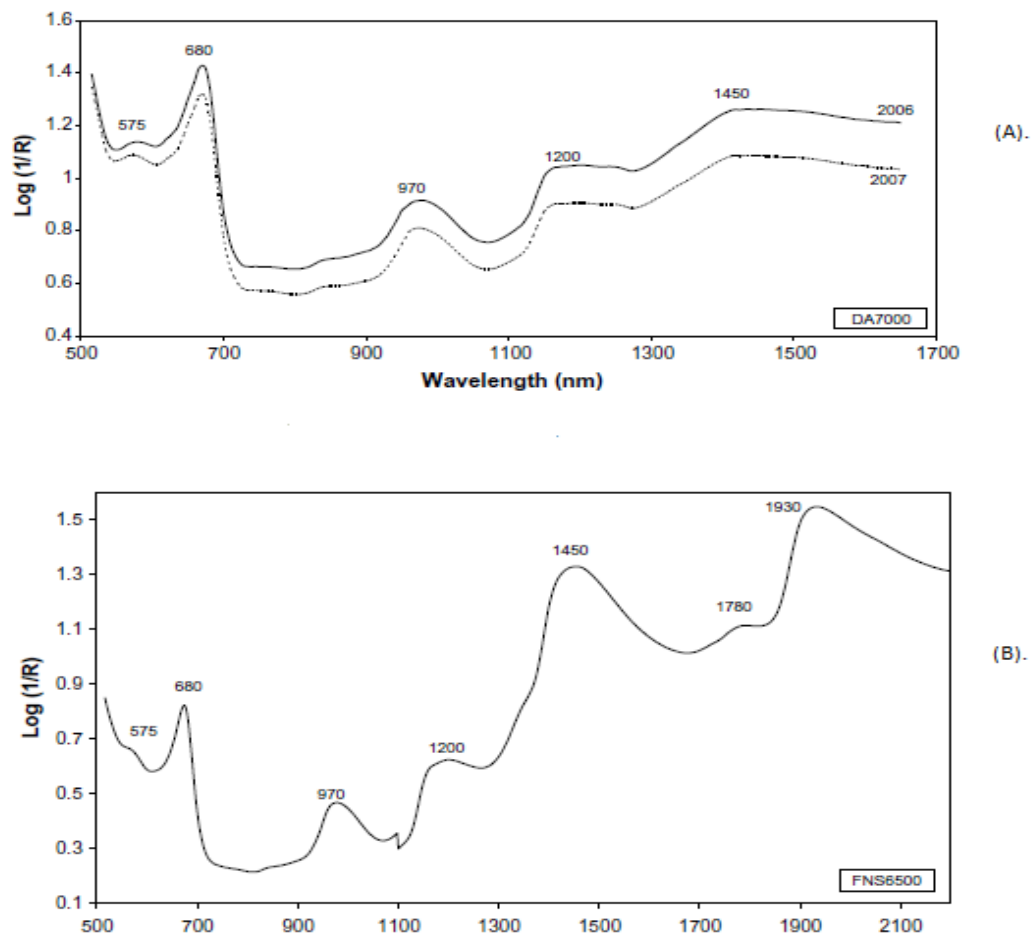


Figura 6. Espectro NIRS  $\log(1/R)$  del tomate usando dos equipos: (A). DA 7000 y (B). FNS 6500

## 9. TABLAS

Fruta	Energía (kcal)	Agua (g)	Hidratos de carbono (g)	Fibra dietética (g)	Grasas (g)	Proteínas (g)
Aguacate	134	79	1,3	2,4	13,8	1,3
Albaricoque	40	86	9,5	2,1	0,1	0,8
Cerezas	58	82	13,5	1,5	0,5	0,8
Ciruela	45	84	11	2,1	0,15	0,6
Fresas	34	88	7	2,2	0,5	0,7
Kiwi	53	83	12,1	1,5	0,44	1
Limón	39	87	9	1	0,3	0,7
Mandarina	39	86	9	1,9	0,19	0,8
Manzana (Golden)	41	85	10,5	2,3	Trazas	0,3
Melocotón	37	86	9	2,3	0,1	0,6
Melón	37	88	8,4	0,8	0,28	0,9
Naranja	38	86	8,6	2,3	0,3	0,8
Pera	48	84	11,7	2,2	0,3	0,4
Piña	46	85	11,5	1,2	0,1	0,5
Plátano	85	73	20,8	2,5	0,27	1,2
Sandía	22	93	4,5	0,3	0,3	0,5
Uvas (blanca)	63	81	16,1	0,9	Trazas	0,6
Uvas (negra)	67	81	15,5	0,4	0,7	0,6

Tabla 1. Componentes mayoritarios de frutas españolas (expresados en 100 g de porción comestible) (Mataix, 2009).

Frutas	Glucosa	Fructosa	Sacarosa
<b>Fresas</b>	2,6	2,3	1,3
<b>Uva</b>	8,2	2,4	0,0
<b>Plátano</b>	5,8	3,8	6,6
<b>Durazno</b>	1,9	0,4	4,4
<b>Naranja</b>	2,4	2,4	4,7
<b>Manzana</b>	1,8	5,0	2,4
<b>Pera</b>	2,2	6,0	1,1

Tabla 2. Principales azúcares presentes en algunas frutas (Gil, 2010).

Ácido	Fruta
Cítrico	Tomate, cítricos, fresa, arándano
Málico	Manzana, melocotón, pera, ciruela, durazno
Tartárico	Uva, aguacate

Tabla 3. Ácidos más comunes en frutas (Gil, 2010).

Fruta	Contenido mínimo en sólidos solubles totales (%)	Acidez titulable máxima (%)
Albaricoque	10	0,8
Arándano azul	10	-
Caqui	18	-
Cereza	14-16	-
Ciruela	12	0,8
Frambuesa	8	0,8
Fresa	7	0,8
Granada	17	1,4
Kiwi	14	-
Mandarina	Relación SST:AT > de 8	-
Mango	12-14 (dependiendo del cultivar)	-
Manzana	10,5-12,5 (dependiendo del cultivar)	-
Melocotón	10	0,6
Melón	10	-
Naranja	Relación SST:AT > de 8	-
Nectarina	10	0,6
Papaya	11,5	-
Pera	13	-
Piña	12	1,0
Sandía	10	-
Tomate	3	0,3
Toronja	Relación SST:AT > de 6	-
Uva	14-17,5 (dependiendo del cultivar) o relación SST:AT > de 20	-

Tabla 4. Sólidos solubles y porcentaje de acidez titulable de algunas frutas (Kader, 2007)

Longitud de onda de máxima absorbancia (nm)	Color absorbido	Color observado
380-420	Violeta	Amarillo verdoso
420-440	Azul violáceo	Amarillo
440-470	Azul	Naranja
470-500	Verde azulado	Rojo
500-520	Verde	Púrpura
520-550	Verde amarillento	Violeta
550-580	Amarillo	Azul violáceo
580-620	Naranja	Azul
620-680	Rojo	Verde azulado
680-780	Púrpura	Verde

Tabla 5. Colores absorbidos y observados a las diferentes longitudes de onda en la región VIS de análisis químico cuantitativo (Harris, 2003).

<i>Grupo</i>	<i>n</i>	<i>Tratamiento matemático<sup>1</sup></i>	<i>media</i>	<i>DE</i>	<i>SEC</i>	<i>R<sup>2</sup></i>	<i>SECV</i>	<i>r<sup>2</sup></i>	<i>RPD</i>	<i>%CV</i>
A	171	MSC	2.69	1.68	0.92	0.69	0.95	0.68	1.76	25.77
B	172	MSC	3.76	1.75	0.92	0.72	0.95	0.71	1.84	25.3
A	185	1,5,5	3.68	1.67	0.8	0.77	0.9	0.72	1.85	24.49
B	170	1,5,5	3.70	1.68	0.92	0.69	0.95	0.68	1.77	25.68

Tabla 6. Estadísticas de las ecuaciones de calibración para la predicción de la firmeza (Lafuente et al., 2012)



Pontificia Universidad Católica del Ecuador

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES  
SECRETARÍA

Av. 12 de Octubre 1076 y Roca  
E-mail: fcen@puce.edu.ec  
Telf.: PBX 2991-575  
Fax: (593-2) 2991-725  
Apartado 17-01-2184  
Quito-Ecuador

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, Irina Minoshka Cazar Villacís, con CC.1003913132, autor del trabajo de graduación titulado: "Análisis físico-químico para la determinación de la calidad de las frutas". Previa la obtención del grado académico de LICENCIADA EN CIENCIAS QUÍMICAS CON MENCIÓN EN QUÍMICA ANALÍTICA en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a difundir a través del sitio web de la Biblioteca de la PUCE el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de la Universidad.

Quito, \_\_\_\_\_

f) \_\_\_\_\_

C.C. \_\_\_\_\_

