UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

Tesis presentada en opción al título académico de máster en Ingeniería Agrícola.

DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS QUÍMICOS QUE DEFINEN LA CALIDAD DE LA FRUTA BOMBA (*Carica papaya* L.) MEDIANTE ESPECTROSCOPIA VIS/NIR

Autora: Ing. Dayana Marin Darias

Tutores: Dr.C. Ahmed Chacón Iznaga

Dra.C. Annia García Pereira

Santa Clara

2015

Pensamiento

Pensamiento

En la medida que estemos más preparados educacionalmente, podremos ser más útiles como trabajadores, como ciudadanos y como revolucionarios, podremos enfrentarnos con más solides a los problemas económicos, a la discusión o ejecución de los planes productivos, al desarrollo del país, e incluso al honroso cumplimiento de nuestros deberes solidarios e internacionalistas.

Fidel Castro Ruz

Dedicatoria

A mi madre que aunque no está físicamente,

siempre me acompaña.

Agradecimientos

A mis hermanas por siempre contar con su apoyo.

A mi tía por estar siempre presente, aún en los momentos más difíciles.

A mi papá por confiar en mí y apoyarme en cada paso.

Agradezco también a mis restantes familiares.

A todos mis amigos y compañeros por su ayuda.

Agradecimiento a la Revolución Cubana por la oportunidad de superarme.

Agradecimiento especial:

A mi tutor por su confianza y colaboración en la realización del trabajo y por haberme enseñado que no hay obstáculo que no puedas enfrentar.

Resumen

Resumen

En los últimos años ha aumentado la diversificación agrícola hacia sectores como las frutas y las hortalizas, debido a que constituyen una de las fuentes más importantes de vitaminas y minerales en la dieta humana. La determinación no destructiva de la calidad interna de la fruta es un objetivo prioritario en las investigaciones más recientes. La espectroscopia en el Visible (Vis) e Infrarrojo cercano (NIR) se ha convertido en una técnica analítica muy útil para la determinación no destructiva de parámetros de calidad en alimentos, adaptándose plenamente a las frutas tropicales en términos de control de calidad. El objetivo principal de esta investigación está encaminado a establecer la correlación entre la concentración de los elementos químicos que definen la calidad de la fruta bomba (*Carica papaya* L.) y sus correspondientes longitudes de ondas mediante el análisis espectroscópico VIS/NIR. Las metodologías utilizadas incluyen la metodología para la preparación de las muestras de fruta bomba, para la realización de los análisis químicos, para la determinación de los espectros y para el procesamiento de los resultados. El principal resultado de esta investigación es proponer un método para la determinación de la calidad de la fruta bomba mediante la espectroscopia VIS/NIR.

Abstract

Abstract

In the last past years, the agricultural diversification has increased toward sectors like the fruits and the vegetables, because they constitute one of the most important sources of vitamins and minerals for the human diet. The nondestructive determination of internal quality from fruits is a high priority goal in the most recent investigations. The spectroscopy on the Visible (Vis) and near Infrared (NIR) has become a very useful analytic technique for the nondestructive determination of quality parameters in foods, adapting fully to the tropical fruits in terms of control of quality. The main objective of this investigation is to establish the correlation among the concentration of the chemical elements, that define the quality of the pawpaw (*Carica papaya* L.) and its corresponding longitudes of waves by means of the analysis spectroscopic VIS/NIR. The used methodologies include the methodology for the preparation of the samples of pawpaw, for the realization of the chemical analyses, for the determination of the spectra and for the examination of the results. The main result of this investigation is to propose a method for the determination of the quality of the pawpaw by means of the spectroscopy VIS/NIR.

Índice

Índice

Introducción 1

Capítulo 1. Revisión Bibliográfica 7

1.1 Características generales del cultivo de la fruta bomba (*Carica Papaya L*).... 7

1.1.1 Principales propiedades nutritivas 7

1.1.2 Importancia comercial 8

1.1.3 Variedades más importantes 9

1.2 Tendencias en la producción de la papaya 11

1.2.1 Principales productores de papaya a nivel mundial 11

1.2.2 Volúmenes de producción a nivel mundial 11

1.2.3 Volúmenes de exportación 12

1.2.4 Principales consumidores 12

1.2.5 Principales productores en Cuba, volumen de producción en el país 14

1.3 Calidad de los frutos 14

1.4 Técnicas y métodos para determinar la calidad en frutos 18

1.4.1 Técnicas destructivas 19

1.4.2 Técnicas no destructivas 20

1.5 Elementos de la espectroscopia VIS/NIR 21

1.6 Análisis quimiométrico de datos espectroscópicos VIS/NIR 26

1.7 Análisis de las investigaciones realizadas sobre el tema objeto de estudio. 29

1.8 Conclusiones parciales..... 32

Capítulo 2. Materiales y Métodos..... 33

2.1 Metodología para la selección de las muestras..... 33

2.2 Metodología para el cálculo de la muestra..... 34

2.3 Metodología para la realización de los análisis químicos..... 34

2.3.1 Metodología para la determinación del pH..... 34

2.3.2 Metodología para la determinación de la acidez titular total..... 35

2.3.3 Metodología para la determinación del Brix..... 36

2.4 Metodología para la determinación de los espectros de reflectancia..... 36

2.5 Metodología para el procesamiento de los resultados..... 40

Capítulo 3. Resultados y Discusión..... 42

3.1 Determinación de los parámetros químicos que determinan la calidad de la fruta bomba. 42

3.2. Variabilidad de los espectros de reflectancia VIS/NIR de las muestras de fruta bomba según tratamientos. 45

3.3 Correlación entre los parámetros químicos y la reflectancia espectral Vis/NIR de las muestras de fruta bomba. 49

Conclusiones..... 54

Recomendaciones..... 55

Bibliografía 56

Anexos

Introducción

Introducción

Actualmente, el mundo es capaz de producir alimentos en cantidades suficientes para todos sus habitantes (FAO, 2007), sin embargo, existen millones de personas que padecen hambre, mientras que la desnutrición crónica persiste. La seguridad alimentaria es decisiva para cada persona, al igual que la distribución equitativa de los alimentos en función de sus necesidades.

La producción y comercialización de frutas tropicales ha venido creciendo de manera sostenida durante las últimas dos décadas (FAO, 2008). Los frutales tropicales son altamente apreciados para el consumo humano a nivel mundial, pues contienen vitaminas y otros elementos esenciales para la vida. La producción de frutas tropicales (excluyendo al banano) alcanzó los 73,02 millones de toneladas en el año 2012. En términos de producción a nivel global, se encuentran en primer lugar el mango (*Mangifera indica)* con 38.6 millones de toneladas (52,86 % de la producción total de frutas tropicales) y en segundo lugar la piña (*Ananas comosus)* con 19,41 millones de toneladas (26,58 % del total de frutas tropicales producidas). La fruta bomba *(Carica papaya* L.*)* ha venido ganando un lugar privilegiado en la demanda de los consumidores del mundo y ello se refleja en las cifras de producción. Hoy en día, la fruta bomba es la tercera fruta tropical más producida con 11.56 millones de toneladas, equivalente al 15.36 % del total de producción de frutas tropicales. La fruta bomba se

produce en más de 60 países y su producción se concentra en naciones en vías de desarrollo. Aun cuando el crecimiento en la oferta de papaya se debe en buena medida al incremento de la producción en la India, esta fruta se ha convertido en fuente de ingreso para miles de hogares y en fuente de divisas para países de Asia y de América Latina. Es importante destacar el hecho de que las exportaciones de papaya contribuyen a la creciente oferta de productos saludables en los mercados internacionales, es una fruta muy apreciada por sus propiedades nutritivas y su delicado sabor y que tiene la virtud de permitir obtener altas producciones en un corto período de tiempo, la mitad de las exportaciones mundiales de papaya, tienen como destino los Estados Unidos (Edward y Ballén, 2012).

La papaya contiene aproximadamente entre un 7 y 9 % en azúcares totales. Se consume principalmente como fruta fresca, en postre o ensalada. Existen variaciones de sabor cuando maduran en los meses de verano, ya que su contenido en azúcar es mayor. Las semillas tienen un sabor picante. Los frutos maduros de fruta bomba también se emplean para hacer bebidas frescas o bebidas suaves carbonatadas, helados, mermeladas, bolas o cubos enlatados con jarabe, fruta cristalizada, encurtidos y pulpa seca en dulce. Los tallos y las hojas contienen pequeñas cantidades de carpaína, un alcaloide estimulante del ritmo cardíaco. La fruta es fuente de papaína, un enzima proteolítico similar a la pepsina y a la tripsina y con una textura pulverulenta y grumosa, de color blanco amarillento, casi inodora, soluble en agua e insoluble en alcohol y éter. La papaína se utiliza como clarificador de la cerveza, en soluciones ablandadoras de carne y como droga para remedios digestivos. La papaína procede del secado del látex que se obtiene del pinzamiento de las diversas partes verdes del

papayo, principalmente del fruto, y se empela fundamentalmente en farmacia, en las industrias de alimentación para ablandar la carne, en la textil para macerar las fibras de lana y algodón, y en la industria de tenería para el curtido de pieles. La extracción del látex se consigue realizando varias incisiones sobre el fruto verde y se recoge en unas bolsas de plástico que rodean al tronco del árbol (agropecuaria, 2010).

Cuba se encuentra ubicado en el puesto 13 dentro de los principales productores de fruta bomba del mundo (FAO, 2012). La fruta bomba se cultiva en nuestro país desde 1906 a escala comercial, ya que el papayo encuentra condiciones climáticas favorables para su desarrollo (INIVIT, 2004).

En cuanto, a la calidad de la fruta bomba, existen distintos métodos empleados para su evaluación, que van desde sistemas sencillos, como la evaluación de apariencia, hasta evaluaciones complejas que requieren de pruebas de laboratorio, donde se pueden mencionar cuatro tipos de pruebas: físicas, químicas, microbiológicas y organolépticas (García y Osío, 2003).

La percepción de calidad en la industria de frutas ha estado circunscrita durante muchos años a atributos externos como color y apariencia, relegando a otros atributos muy importantes como la percepción del sabor, textura, color y defectos internos a ser evaluados durante el consumo. Actualmente, se han comenzado a considerar los atributos internos de cada producto junto a los externos en todas las etapas de producción como un criterio integrado del control de calidad, tratando de dar respuesta a las altas exigencias de un mercado altamente competitivo como es el de las frutas frescas.

La demanda de fruta de calidad obliga a los profesionales de la industria y a los investigadores a realizar ensayos de laboratorio para determinar objetivamente la calidad organoléptica del producto que manejan (Valero y Ruiz, 2004).

La calidad organoléptica se refiere fundamentalmente a las sensaciones que experimentamos al probar y consumir un alimento y se relaciona con los aspectos gustativos (ej. dulzor, acidez), olfativos (ej. aroma, perfume) y táctiles (ej. firmeza, textura). Dentro de los factores que determinan la calidad organoléptica el sabor es el que normalmente tiene mayor impacto en la percepción de esta por el consumidor (Valcárcel, 2009).

La determinación de la calidad en frutas ha ido evolucionando según las exigencias del mercado; las mediciones instrumentales se han preferido sobre las evaluaciones sensoriales tanto por los investigadores como por la propia industria, ya que dichas mediciones reducen la variabilidad entre los individuos, son más precisas y pueden proporcionar un lenguaje común entre los investigadores, la industria y los consumidores (Flores, 2009).

La calidad interna de la fruta se puede determinar mediante técnicas destructivas y técnicas no destructivas. La espectroscopia VIS/NIR, es hoy en día, una de las alternativas más adecuadas para hacer frente a las exigencias de calidad, ya que es una técnica no destructiva que combina rapidez y precisión en la medida, con una gran versatilidad, sencillez de presentación de la muestra, velocidad de recogida de datos (espectros) y bajo coste (González, 2012).

La determinación de parámetros químicos de un producto es la forma más habitual de evaluar su calidad, pero a menudo se olvida que las muestras recogen también una

variabilidad física que caracteriza la muestra y que además puede repercutir en el análisis que se va a realizar. El espectro recoge tanto la información química como la física lo que permite determinar ambos tipos de propiedades a partir de un único análisis, por lo cual planteamos el siguiente problema científico.

Problema científico

¿Cómo correlacionar los parámetros químicos que definen la calidad de los frutos de la fruta bomba *(Carica papaya* L.*)* con las lecturas de reflectancia espectral obtenidas mediante la técnica de espectroscopia VIS/NIR?

Hipótesis

La combinación de métodos convencionales de análisis químicos y espectroscópicos Vis/NIR, permitirá el desarrollo de modelos matemáticos que correlacionen la reflectancia espectral con los parámetros químicos que definen la calidad de los frutos de fruta bomba.

Objeto de estudio

Parámetros químicos que definen la calidad de la fruta bomba.

Objetivo general

Determinar parámetros químicos que definen la calidad de la fruta bomba mediante el uso de la técnica de espectroscopia VIS/NIR.

Objetivos específicos

1. Determinar en condiciones de laboratorio los parámetros químicos que definen los indicadores de calidad de la fruta bomba.
2. Determinar mediante la técnica de espectroscopia VIS/NIR la variabilidad de los espectros de reflectancia en diferentes longitudes de onda.

3. Correlacionar parámetros químicos de calidad de la fruta bomba, con las lecturas de reflectancia espectral Vis/NIR en diferentes longitudes de onda.

Justificación

La presente investigación es de gran importancia ya que se espera como resultado principal proponer un modelo para la determinación de la calidad de la fruta bomba mediante espectroscopia VIS/NIR. Este modelo va a permitir hacer valoraciones para poder determinar en condiciones de laboratorio la calidad de la fruta bomba según sus parámetros químicos.

La novedad científica de esta investigación consiste en la elaboración de un modelo para determinar la calidad de la fruta bomba por métodos espectroscópicos en función de sus parámetros químicos.

El trabajo tiene un impacto social pues la demanda de la población mundial cada día exige productos de mejor calidad para su consumo y distribución. Además tiene un impacto económico pues al comercializar frutas de mayor calidad los ingresos serán más altos y las alianzas comerciales más fuertes.

Presenta un valor teórico pues ofrecerá una herramienta que contribuya al desarrollo agroindustrial del país.

Capítulo I

Capítulo 1. Revisión Bibliográfica

1.1 Características generales del cultivo de la fruta bomba (*Carica Papaya L*)

El lugar de origen más aceptado para la fruta bomba es la América Central y desde aquí se extendió hacia todas las regiones tropicales del planeta donde se cultiva actualmente (Chandler, 1967). La fruta bomba fue descubierta por el conquistador español Hernán Cortés al sur de los estados de Tabasco y Yucatán en el año 1519 (Calderón y Cepeda, 1990). La primera mención escrita que se tiene de la papaya es en la "Historia Natural y General de las Indias" de Oviedo, quien alrededor del año 1535, en una carta a su Soberano, le decía haber visto, esta planta, creciendo en el sur de México y Centroamérica (Mederos, 1991). En los primeros tiempos de la conquista se distribuyó rápidamente por todas las Antillas y Sudamérica. A finales del siglo XIV y a principios del XV se difundió a Filipinas, Malasia, Sur de China, Ceilán y Hawai, por navegantes españoles y portugueses. Ahora se encuentra cultivado en extensas zonas por todas las regiones tropicales y subtropicales y reciben diversos nombres de acuerdo al país productor: mamón, papaya, lechosa, melón de árbol, fruta bomba, mamao, pawpaw, entre otros (Parra, 2012).

1.1.1 Principales propiedades nutritivas

La papaya es considerada una fruta exquisita, tanto desde el punto de vista nutritivo como organoléptico. En su composición se destaca el rico contenido en vitamina A y C.

Ideal para regímenes de dietas, por contener vitaminas B1, B2 y B3, todas del complejo B, que regulan el sistema nervioso y el aparato digestivo; fortifican el músculo cardíaco; protegen la piel y el cabello y son esenciales para el crecimiento. Es rica en minerales como calcio, fósforo, magnesio, hierro, azufre, silicio, sodio y potasio. Por otra parte tiene bajo valor calórico, cerca de 40 calorías por cada 100 gramos de fruta. Además aporta fibra, la cual mejora el tránsito intestinal. El contenido proteico es relativamente bajo y también lo es su contenido en grasas, lo que la hace una fruta muy aconsejable para personas con problemas circulatorios. Esta fruta contiene una enzima digestiva conocida como papaína, la cual ayuda a digerir las proteínas, lo que la convierte en un gran digestivo. Además también se extrae un alcaloide denominado carpaína, utilizado como activador cardíaco. Tiene propiedades astringentes y se considera fuente de antioxidantes.

1.1.2 Importancia comercial

El cultivo de la fruta bomba ha experimentado un crecimiento en todo el mundo en la última década debido a la demanda de los consumidores por sus propiedades nutritivas, medicinales y su sabor. Resulta además atractivo para los agricultores debido a que ofrece ingresos a partir de los 6 meses de trasplantado, lo que lo vuelve uno de los frutales más precoces. Los proyectos de inversión social ven en esta planta una buena alternativa de alimento, opciones de diversificación de fincas, fuente de empleo y alta rentabilidad (Alfonso, 2010).

La fruta bomba se consume como fruta fresca, en licuados y en menor escala en dulces. Posee además un gran potencial de industrialización en las áreas

farmacéuticas, culinaria, médica, industria cervecera y de bebidas no alcohólicas. Algunos productos obtenidos a partir de su industrialización son los siguientes: papaína, pectina, esencias, aceites, diversos medicamentos, néctares, conservas, miel, jalea, fruta deshidratada, mermeladas y jugos. También es utilizada para tratamientos médicos de insuficiencias gástricas y duodenales, elaboración de medios de cultivo, ablandador de carnes, suavizadores de chicles, jarabes expectorantes y clarificación de cervezas.

Es importante destacar que este cultivo tiene un amplio campo de usos, que va desde su consumo como fruta fresca, además de otros usos industriales en las áreas farmacéuticas, cosméticas, cerveceras, textiles, alimenticias entre otras (Avilan y Renfigo, 2001).

1.1.3 Variedades más importantes

Debido a que la fruta bomba se reproduce por semilla, se han desarrollado un gran número de variedades, empleándose en cada zona de cultivo las mejor adaptadas a sus condiciones climatológicas. Las variedades mestizas son poco estables, y se recomienda tener cuidado en obtener semillas de progenitores que pertenezcan a la misma variedad. Destacan las variedades Solo, Bluestem, Graham, Betty, Fairchild, Rissimee, Puna y Hortusgred. Las variedades más aceptadas son la Solo y la variedad Puna, ambas procedentes de Hawai (agropecuaria, 2010). Los principales tipos de fruta bomba que se comercializan en el mundo son la *Solo-type*, caracterizada por sus pequeñas dimensiones y conocida como fruta bomba Hawaiana, que pesa entre 0,5 y 1

kg por fruta y la fruta bomba grande, que puede llegar a pesar hasta 4,5 kg por fruta y es también conocida como fruta bomba Mexicana.

La fruta bomba se cultiva en Cuba desde 1906 en escala comercial. Las condiciones de Cuba son favorables para este cultivo, ya que el papayo encuentra condiciones óptimas para su desarrollo. Las principales variedades que se cultivan en Cuba son: Maradol Roja, INIVIT fb - 2000 Enana, Maradol Amarilla, HG/MA, HG/MR, Nika III, Viet Nam # 1, Criolla; además se cultivan frutos de las variedades Solo y Sunrise Solo entre otros que se cultivan a menor escala (INIVIT, 2011). La maradol roja se encuentra entre las tres más cultivadas en el mundo (García, 2013).

Maradol Roja: Esta variedad fue obtenida en Cuba por el fitomejorador autodidacta Adolfo Rodríguez Rivera y su esposa Maria Luisa Nodals Ochoa durante el periodo 1938-1956. El nombre surge al unir los nombres de estos, mar, de María y adol, de Adolfo. Es un árbol cuya altura promedio es de 2,15 m pudiendo llegar hasta los 2,30 m. Es una planta precoz que puede iniciar la producción a los 7 meses y estabilizar la cosecha a los 8 meses. Los frutos son de maduración lenta, pulpa suave y gran consistencia, poseen piel lisa, gruesa y resistente; pueden ser cilíndricos (alargados), y redondos, de color rojo salmón en su interior al madurar y naranja brillante en su exterior cuando alcanzan la madurez fisiológica. El largo oscila entre los 22 y 27 cm y el diámetro entre 9 y 13 cm (Santamaría *et al.*, 2009).

1.2 Tendencias en la producción de la papaya

1.2.1 Principales productores de papaya a nivel mundial

De acuerdo a datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), se produce papaya en alrededor de 60 países. En 2012 se produjo un total de 11 568 346 toneladas a nivel mundial. Asia ha sido la región en donde la producción de papaya ha crecido de manera más importante y constituyó el 52,55% de la producción global; la siguió Suramérica (con 23,09%), África (13,16%), Centroamérica (con 9,56%), el Caribe (1,38%), Norteamérica (0,14%) y Oceanía (0,13%) como muestra la figura 1.

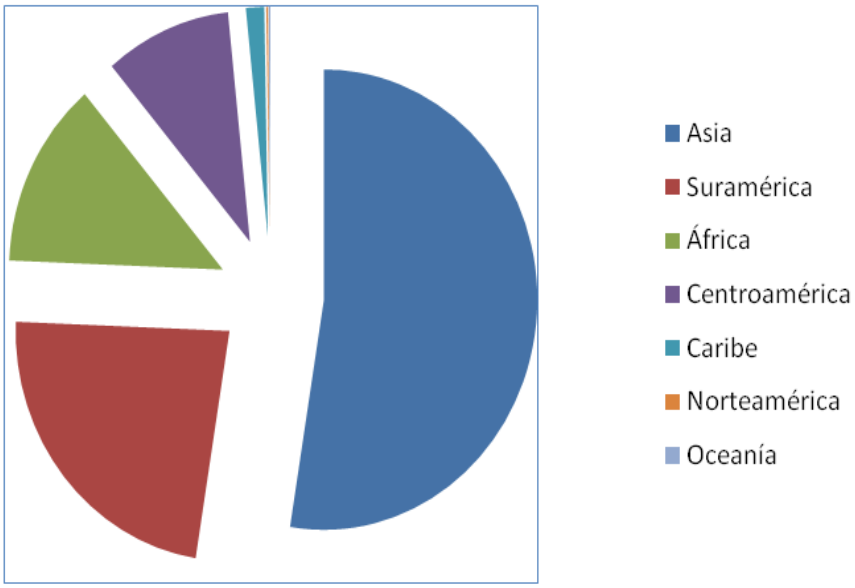


Figura 1. Producción de fruta bomba. Fuente: (FAO, 2012)

1.2.2 Volúmenes de producción a nivel mundial

Es importante destacar que la producción ha permanecido relativamente estable en la mayoría de los principales países productores de fruta bomba en los últimos años según se muestra en el anexo 1. La excepción es la India que es responsable del

aumento en la producción mundial, de poco más de 2 millones de toneladas en 2005, paso a más de 4 millones de toneladas en 2012, lo que indica una tasa de crecimiento anual del 14,94 %. El mayor incremento de la producción de papaya en la India se dio durante el año 2008, cuando con respecto a 2007 la producción incrementó en 20,5 %. Dicho incremento correspondió a varios factores, entre otros: incremento en el área sembrada, mejoramiento genético y mejores prácticas de manejo (FAO, 2012).

1.2.3 Volúmenes de exportación

Las exportaciones de fruta bomba han tenido una tendencia creciente durante los últimos años según se muestra en el anexo 2. Respecto a los principales exportadores, México ocupa el primer lugar con 134 mil toneladas, lo que representa el 41 % del total mundial, el valor de estas exportaciones son 55,32 millones de dólares, le siguen Brasil y Belice con un 11 % aproximadamente cada uno. Entre los tres representaron el 63,28 % de las exportaciones mundiales. En un segundo plano, como exportadores de fruta bomba, aparecen Malasia, India y los Estados Unidos (principalmente re-exportaciones) (Edward y Ballén, 2012). Llama la atención el caso de la India, principal productor de fruta bomba en el mundo y que solo participa con poco menos del 1% de las exportaciones mundiales de la fruta. La explicación a lo anterior radica en el hecho de que el ingreso per cápita de la India ha incrementado y con el poder adquisitivo la demanda por alimentos saludables como la fruta bomba (Line, 2011).

1.2.4 Principales consumidores

En el periodo 2010–2012 la demanda mundial de fruta bomba se concentró en los Estados Unidos a donde se dirigieron el 54,6 % de las exportaciones mundiales de

papaya fresca como se muestra en el anexo 3. En orden de importancia le siguen Singapur (8,34 %), Canadá (5,30 %) y Holanda (4,18 % como re-exportaciones). Durante el periodo 2006–2012, la importación de fruta bomba a los Estados Unidos creció a una tasa anual de 10,94 %, pasando de 88,559 toneladas en 2006 a 156,430 toneladas en 2012. En 2012, las importaciones de fruta bomba al mercado de los Estados Unidos tuvieron como origen México (US$72 millones, 74,51 %), Belice (US$14,6 millones, 14,69 %) y Brasil (US$6,30 millones, 6,44 %). Entre los tres representaron el 95,55 % del valor total de la fruta bomba importada por Estados Unidos en el año en mención (Comtrade, 2012).

Para el mismo periodo (2006–2012), Singapur, el segundo importador de fruta bomba del mundo; experimentó una caída de 17,91 % en el volumen de sus importaciones de fruta bomba después de alcanzar un máximo de 27,536 toneladas en 2006. Los principales exportadores de fruta bomba a Singapur para el año 2012, en orden de participación (en términos de valor) fueron Malasia (US$4.77 millones, 90.31 %), Filipinas (US$0,35 millones, 6,80 %) y Tailandia (US$0,11 millones, 2,12 %). Entre los tres países representaron el 99,23 % del valor de la fruta importada por Singapur (Comtrade, 2012).

El tercer gran importador de fruta bomba durante el lapso 2006–2012 fue Canadá. Durante el periodo en mención el volumen de fruta bomba importada poco más que se dobló, pasando de 5,624 toneladas en 2006 a 13,23 toneladas en 2012. Los principales exportadores de la fruta al Canadá son los Estados Unidos (re-exportación) (US$4,25 millones, 27,41%), Belice (US$3,74 millones, 24,32%) y México (US$3,04 millones, 19,70%). Entre los tres fueron responsables del 71,43% de las exportaciones de fruta

bomba a Canadá (Comtrade, 2012). En 2003 Canadá se convirtió en el primer país en importar fruta bomba genéticamente modificada desde Hawái, después de que las autoridades regulatorias del Canadá estudiaron su composición nutricional, sus posibles implicaciones toxicológicas y el potencial alergénico.

1.2.5 Principales productores en Cuba, volumen de producción en el país

La producción de fruta bomba en Cuba tuvo un aumento considerable en el año 2011 en relación con los años anteriores y a partir de ese momento se ha mantenido estable sobre las 130 000 toneladas por año, siendo las principales productoras las provincias de Granma y Camagüey debido a la cantidad de hectáreas destinadas a este cultivo. Con un volumen de producción de 135 000 toneladas en el año 2012, nuestro país se ubicó en el puesto número 13 a nivel mundial en la producción de fruta bomba destinada principalmente al turismo, la industria alimenticia y los mercados estatales agropecuarios para el consumo fresco de la población (INIVIT, 2011).

1.3 Calidad de los frutos

La palabra “calidad” proviene del latín “Qualitas”, que significa atributo, propiedad o naturaleza básica de un objeto. Sin embargo, en la actualidad y en sentido abstracto su significado es grado de excelencia o superioridad o idoneidad para un uso particular (Abbott, 1999). Según Flores (2009) se puede decir que un producto tiene calidad cuando cumple los valores de calidad mínimos establecidos, o es superior en uno o varios atributos que son valorados objetiva o subjetivamente. En términos del servicio o satisfacción que produce a los consumidores, podríamos también definirla como el grado de cumplimiento de un número de condiciones que determinan su aceptación por

consumidor. Se introduce aquí un carácter subjetivo, ya que distintos consumidores juzgarán con un mismo producto de acuerdo con sus preferencias personales (Piñeiro y Diaz, 2004).

La calidad en frutas, en su sentido más amplio, podemos considerarla como un compendio de calidades donde se incluyen la calidad organoléptica, calidad microbiológica, calidad nutritiva y la calidad comercial. Se puede definir como el conjunto de propiedades de las frutas, que satisface las exigencias del consumidor. La calidad organoléptica, se refiere a contenido en zumo, aroma, índice de madurez, tamaño, textura, color, entre otros. La calidad microbiológica, está referida, a la ausencia tanto interna como externa, de hongos, bacterias y virus. La calidad nutritiva, es el equilibrio de azúcares y ácidos, la cantidad de vitamina C, la ausencia de semillas, cantidad de proteínas, etc. La calidad comercial, está basada en la producción, confección, conservación, transporte y distribución; o sea, todas aquellas operaciones realizadas con los frutos durante los procesos mencionados (Valero, 2002).

La calidad de las frutas frescas es una combinación de características, atributos y propiedades que le dan al producto su valor como alimento. La importancia relativa de cada componente de la calidad depende del producto y cómo se utiliza; el concepto varía entre los productores, manipuladores y los consumidores. Para los productores, el producto debe tener alto rendimiento y buena apariencia, ser de fácil cosecha, y resistir largas distancias hasta los mercados. Para los envasadores y distribuidores, la calidad interna (sabor, defectos internos y firmeza) y externa (color, tamaño, defectos) es lo más importante, además de contar con una larga vida comercial. Los consumidores opinan que la apariencia y la frescura son los factores más importantes en el momento

de la compra. Éstos seleccionan productos de tamaño, color, forma y firmeza apropiados. Son también importantes la calidad nutricional y propiedades relacionadas con la salud. Bruhn (2007) indica que los parámetros determinantes de la calidad en el momento de la compra son el sabor, el valor nutritivo, la inocuidad y el precio. En el anexo 4 se relacionan los indicadores que de forma general se emplean para determinar la calidad de las frutas.

La importancia de cada uno de los factores de calidad depende del producto y de su uso (fresco o procesado). Los factores relacionados con la apariencia son los atributos de calidad más juzgados por los consumidores a la hora de comprar productos frescos (Kader, 2000). El tamaño, color y forma apropiados son otros de los criterios de calidad más importantes. Un color y olor característico es deseable pues indica madurez y refleja calidad de consumo. Generalmente, a los productos de mayor tamaño se les asigna el precio máximo. Las cicatrices, rasguños y otras marcas disminuyen la preferencia del consumidor en términos de calidad (Bruhn, 2007).

La textura y el sabor son también factores de calidad de las frutas. La firmeza está relacionada con la resistencia al estrés mecánico durante el transporte. Evaluar la calidad de sabor implica la percepción de gustos y aromas de muchos compuestos. La determinación analítica objetiva de componentes críticos del sabor debe estar unida a las evaluaciones subjetivas del panel-test para proporcionar información significativa acerca de la calidad de sabor (Kader, 2007).

La calidad de frutas frescas es así mismo medida por su aporte nutricional, especialmente como fuentes de vitaminas (A, C, B6, tiamina, niacina), minerales (zinc, calcio, potasio y fósforo) y fibra dietética. Las pérdidas poscosecha en la calidad

nutricional, particularmente en el contenido de vitamina C, pueden ser sustanciales y se incrementan con el daño físico, la duración del almacenamiento, las altas temperaturas, la baja humedad relativa y el daño por frío.

La industria frutícola requiere de sistemas efectivos de control y aseguramiento de la calidad demandada por el consumidor. Estos sistemas tradicionalmente han utilizado métodos destructivos basados en análisis físico - químicos y algunos métodos no destructivos basados en análisis subjetivos empleando escalas hedónicas.

El control de calidad comienza en el campo con la selección del momento adecuado de recolección para maximizar la calidad del producto. El sabor mínimo aceptable para las frutas es determinado mediante la relación entre el contenido en sólidos solubles y la acidez titular como se muestra en el anexo 5.

La calidad relacionada con la apariencia incluye el tamaño, la forma, color y defectos externos. Las frutas con presencia de defectos externos son identificados visualmente y separados manualmente de las líneas de envasado y clasificado. Los criterios para separar estos productos difieren de un producto a otro, pero esencialmente están basados en a la ausencia de magulladuras, manchas, cicatrices, pudriciones y malformaciones (Valero, 2002). Sin embargo, la industria no puede basarse solamente en una selección por características externas, a pesar que la preferencia del consumidor se fundamente en ellas.

En fin el concepto de calidad como forma de diferenciar productos evolucionó desde tiempos inmemoriales conjuntamente con el intercambio mismo. A medida que el comercio local o regional evoluciona hacia lo internacional, la calidad se consolida como la herramienta competitiva por excelencia, conduciendo a la necesidad de

establecer estándares para separar la calidad en categorías o grados, así como para definir los límites de los defectos permitidos (Moons *et al.*, 1997). Todos los países inician el proceso de normalización o redacción de normas de calidad para facilitar el intercambio y definir con precisión los principales aspectos de la calidad. Hoy en día, al igual que en otros productos, la comercialización de frutas, tanto a nivel nacional como internacional, está reglamentada por estándares de calidad, los que proveen un lenguaje común entre los distintos participantes de la cadena producción-comercialización-consumo. También son las herramientas legales para dirimir disputas comerciales, útiles para el marketing del producto y patrón de comparación de precios.

1.4 Técnicas y métodos para determinar la calidad en frutos

La calidad en las frutas, se refiere fundamentalmente a las sensaciones que experimentamos al probar y consumir una fruta y se relaciona con los aspectos gustativos (dulzor, acidez, etc.), olfativos (aroma, perfume, etc.) y táctiles (firmeza, textura, etc.). Dentro de los factores que determinan la calidad en las frutas el sabor es el que normalmente tiene mayor impacto en la percepción de esta por el consumidor. El sabor guarda una relación directa con la composición química de la fruta, especialmente con el contenido de azúcares y ácidos orgánicos, que va a variar dependiendo de la especie considerada y del grado de madurez del fruto. Variaciones en las concentraciones de azúcares y ácidos contribuyen significativamente a las variaciones del sabor en las frutas, siendo más intenso el sabor a mayores concentraciones de estos compuestos (Stevens *et al.*, 1977). La fidelización, condición superior de consumo, se consigue a través de la calidad de los atributos internos de las frutas (Harker *et al.*, 2008).

Para la determinación de la calidad en la frutas se utilizan técnicas destructivas y no destructivas. Si bien es cierto que los métodos físicos, químicos, y biológicos están en continua renovación, y que es generalmente aceptado el hecho de que los laboratorios son capaces de determinar cualquier constituyente de un alimento, sea cual sea la concentración en la que se encuentra, es igualmente reconocido que la alta sofisticación del equipamiento, junto con la lentitud y el alto coste por muestra de los métodos tradicionales, dificulta su implantación en los programas actuales de Gestión de Calidad. Todo ello plantea la necesidad de disponer de métodos rápidos, precisos y económicos para la determinación analítica de las características físicas, químicas y sensoriales de las frutas (Peguero, 2010).

1.4.1 Técnicas destructivas

Las técnicas destructivas como lo indica su nombre son pruebas que deforman al material o producto parcial o totalmente. Se identifican comúnmente con las siglas: PD, pruebas destructivas; y se consideran sinónimos a: Ensayos destructivos (ED), inspecciones destructivas y exámenes destructivos.

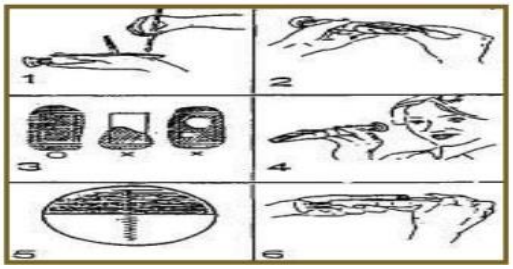
Los atributos internos de las frutas se determinan generalmente con métodos analíticos destructivos como los análisis químicos, la refractometría, la titración, el uso de penetrómetros y texturómetros, como se muestra en la figura 2, en muestras representativas por lote, pero su efectividad puede verse limitada por la alta variabilidad en la calidad interna, entre piezas de frutas de una misma especie o variedad (Gonzalez, 2010).

pH

Acidez

FRUTA	°Brix	acidez % Acido Citrico Anhidrico	Rendimiento %
Piña	13	0.5	50
Pera	10	0.4	75
Mora	9	1.2	75
Maracuyá	14	4.0	30
Manzanas	10	0.4	75
Mango	13	0.6	55
Lulo	9	1.0	60
Guayaba	10	0.5	70
Guanábana	14	0.7	55
Fresa	7	0.7	80
Cítricos	9	0.7	50

º Brix



Firmeza

Figura 2. Técnicas destructivas

1.4.2 Técnicas no destructivas

Se denomina técnicas no destructivas a cualquier tipo de prueba practicada a un material o producto que no altere de forma permanente sus propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales. Las técnicas no destructivas implican un daño imperceptible o nulo, figura 3. Los diferentes métodos de técnicas no destructivas se basan en la aplicación de fenómenos físicos tales como ondas electromagnéticas, acústicas, elásticas, emisión de partículas subatómicas, capilaridad, absorción y cualquier tipo de prueba que no implique un daño considerable a la muestra examinada (Ĺñiguez, 2007).

Las técnicas no destructivas permiten realizar la inspección sin perjudicar el posterior empleo del producto, por lo que permiten inspeccionar la totalidad de la producción si fuera necesario. Se identifican comúnmente con las siglas: PND, pruebas no

destructivas; y se consideran sinónimos a: Ensayos no destructivos (END), inspecciones no destructivas y exámenes no destructivos.

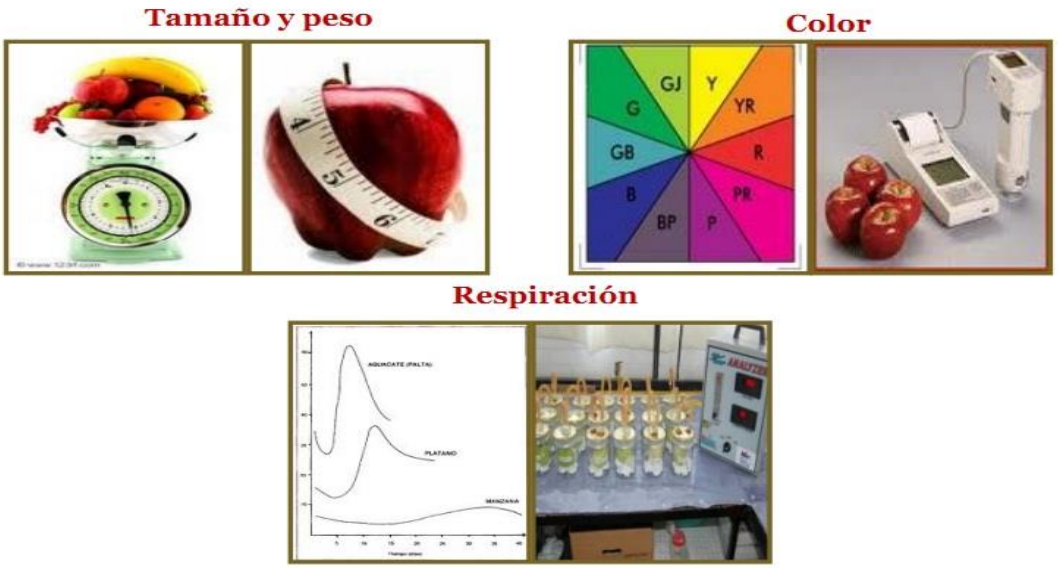


Figura 3. Técnicas no destructivas

La industria frutícola realiza numerosos esfuerzos para llevar a cabo determinaciones no destructivas de la calidad, que no dañen ni deprecien el producto, de forma que éste pueda ser posteriormente vendido y/o utilizado para otras medidas (Peiris *et al.*, 1998). Efectivamente, existen una amplia variedad de métodos no destructivos (Espectroscopía VIS/NIRS, fluorescencia, rayos, X, etc.), que están siendo evaluados y utilizados por la industria para medir atributos de calidad de frutas (Hutton, 1998).

1.5 Elementos de la espectroscopia VIS/NIR

El descubrimiento de la región espectral de infarrojo cercano se atribuye a Sir William Herschel, cuando en 1800 haciendo pasar la luz solar por un prisma tomó la temperatura de la región contigua a la zona rojiza del espectro visible. El termómetro demostró la existencia de una forma de luz invisible más allá del color rojo. El

desarrollo y aplicación de métodos espectroscópicos para la resolución de problemas analíticos se demoró algunos años, debido a las características espectrales de lo que se conoce hoy en día como región NIR (Near InfraRed). No fue hasta 1881 cuando Abney y Festing documentaron los primeros espetros NIR de líquidos orgánicos en el intervalo espectral de 700 a 1200 nm. Las primeras aplicaciones analíticas se desarrollaron en la década de los 50 en el siglo XX, como consecuencia de la aparición de los primeros espectrofotómetros comerciales. En 1954, Wilbur Kaye, presentó su trabajo en el cual se registraron espectros de diferentes líquidos orgánicos entre 700 y 3500 nm, asignando los grupos funcionales de la molécula a las diferentes bandas (Peguero, 2010).

El primer impulso importante no fue hasta la década de los 60, cuando Karl Norris empezó a usar esta técnica para el estudio de matrices complejas de origen vegetal. Sus trabajos se orientaron en el campo agroalimentario e impulsaron el interés por la espectroscopia NIR. Los avances en el campo de la electrónica y la óptica proporcionaron, a partir del año 1970, la aparición de nuevos instrumentos que permitirían el registro de espectros completos, con una mayor rapidez y reproducibilidad (Malley, 1998).

Hoy en día la espectroscopia en el Infrarrojo Cercano, NIRS, es una técnica analítica usada en la determinación de atributos de índole cualitativo y cuantitativo aplicada a una gran variedad de sectores productivos, y una alternativa a los análisis tradicionales de laboratorio para el control de calidad de alimentos (Naes *et al.*, 2002).

La tecnología NIR se basa en la emisión de un haz de luz sobre la muestra a analizar, la cual en función de su composición, o mejor aún, de la naturaleza de los enlaces

presentes en sus moléculas, fundamentalmente de aquellos de tipo –CH, –NH y –OH, interaccionará con ellos absorbiendo una determinada cantidad de radiación electromagnética en el rango del infrarrojo cercano, de 780 a 2500 nm (Shenk y Westerhaus, 1995).

Las bandas más frecuentes en NIR son debidas a enlaces que contienen átomos con diferencias de peso molecular importantes, de manera que se aumentan la anarmonicidad del enlace. Algunos ejemplos son C-H, N-H, O-H o S-H como se puede observar en la figura 4.

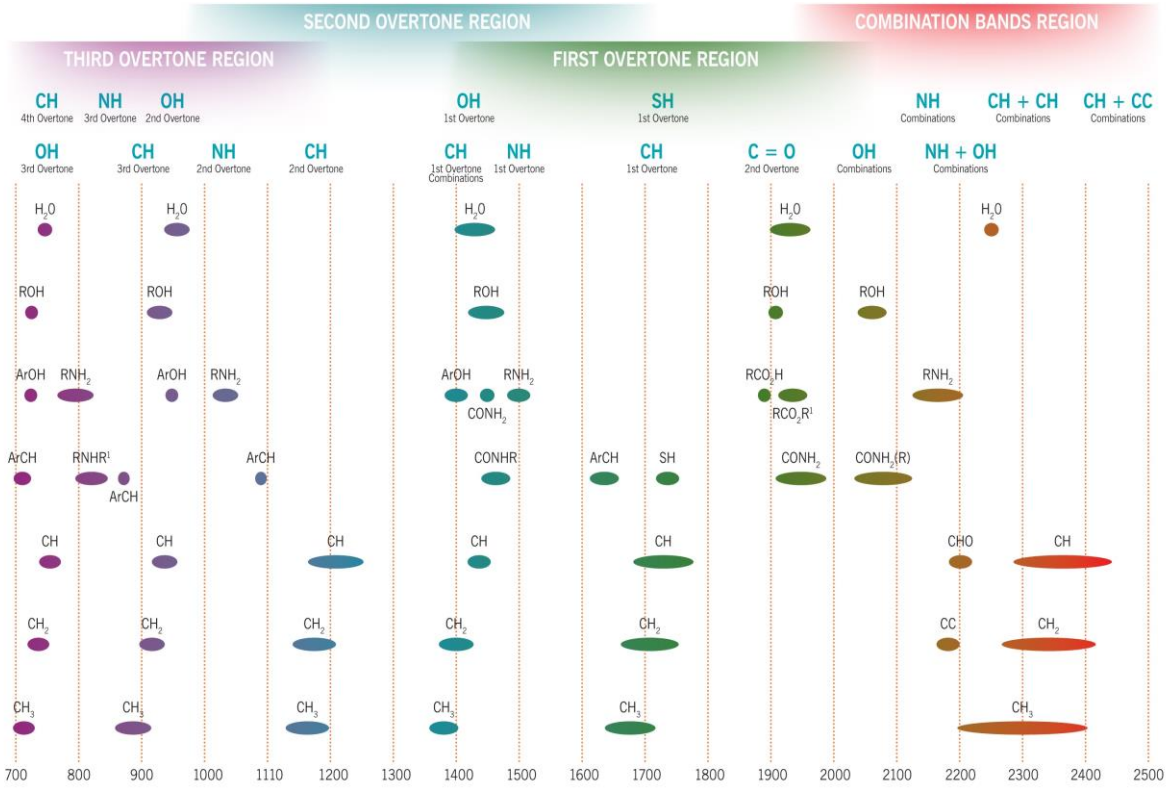


Figura 4. Asignación de bandas NIR a grupos orgánicos. Fuente: (Peguero, 2010)

La región del infrarrojo comprende el intervalo espectral de 780-10^6 nm. Según el fenómeno espectroscópico que provoca la absorción de energía por parte de la materia, podemos dividir esta región en tres zonas: 1) infrarrojo cercano 780-2500 nm

(NIR), 2) medio 2500-4*10⁴ nm (MIR) y 3) lejano 4*10⁴-10⁶ (FIR). La absorción en el infrarrojo lejano se debe a las rotaciones moleculares, mientras que en el medio proviene de las vibraciones moleculares fundamentales. En el infrarrojo cercano se debe a los armónicos y bandas de combinación de las vibraciones fundamentales de las moléculas (Flores, 2009).

Una característica de la zona de infrarrojo cercano es que las interacciones entre moléculas, como puentes de hidrogeno, etc., afectan al espectro NIR, por lo que también incorpora información sobre la estructura cristalina de las sustancias.

Los instrumentos NIR permiten registrar el espectro, tanto de muestras sólidas, líquidas o gaseosas. La versatilidad en cuanto al tipo de producto y atributo a medir es una de las características de la tecnología NIR. La variabilidad en la presentación de la muestra conlleva que exista una gran variedad de accesorios para presentar la muestra al instrumento. En función de la naturaleza y tipo de producto puede ser más apropiado un modo de análisis u otro.

La figura 5 muestra a cuatro modos principales de análisis NIR: transmitancia, reflectancia, transflectancia, e interactancia (Pérez-Marín *et al.*, 2007). La ubicación de los detectores con respecto a la muestra determinará si el equipo trabaja en transmitancia, reflectancia, o combinaciones de éstas (Burns y Ciurczak, 1992).

En transmitancia, la radiación NIR atraviesa la muestra, interactuando en su camino con las moléculas que la componen, siendo una parte absorbida por ellas. La energía que no es absorbida pasa de largo y es cuantificada por los detectores ubicados detrás de la muestra. El uso más común de este sistema es para analizar sólidos de baja densidad, muestras líquidas y semilíquidas.

En reflectancia, el haz de luz se difunde por la muestra irradiada, la radiación penetra en ella (normalmente unos mm), interactuando con las partículas y siendo selectivamente absorbida. La energía que no se absorbe es reflejada y puede ser cuantificada por detectores situados en el mismo plano que la muestra. Este sistema es el más común para muestras sólidas y semisólidas, que forman una barrera difícil de atravesar en transmitancia.

La transflectancia o doble transmisión es una combinación de la transmisión y la reflexión, desarrollada por Technicon para el equipo InfraAlyser (Pérez-Marín *et al.*, 2007). La luz es transmitida a través de la muestra (generalmente líquidos), ésta se dispersa llegando hasta el fondo de la cubeta, el cual tiene un material totalmente reflectante (aluminio u oro) y regresa al detector que se encuentra en paralelo con la muestra, en modo reflectancia.

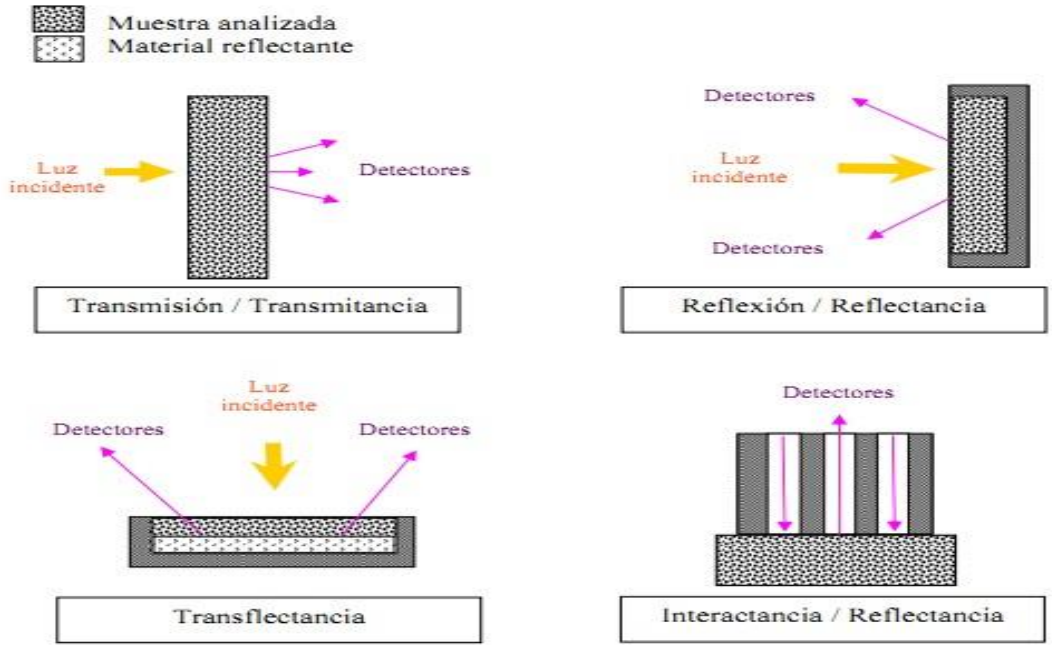


Figura 5. Formas de análisis NIR de los productos agroalimentarios. Fuente: (Flores, 2009)

La interactancia fue desarrollada por Karl Norris para estudiar plantas vivas y tejidos humanos (NC-ISO 1842, 2001). El modo de actuación consiste en que sondas de fibra óptica concéntricas se disponen de tal modo que el exterior de la mismas es por donde se ilumina la muestra y el interior de la sonda por el que se devuelve la energía reflejada de la muestra. Para la recogida del espectro NIR, la sonda debe estar en contacto con la superficie de la muestra (Pérez-Marín *et al.*, 2007; Martínez, 2012).

1.6 Análisis quimiométrico de datos espectroscópicos VIS/NIR

La espectroscopia Vis/NIR es una técnica ampliamente usada como método de análisis cuantitativo y cualitativo, para lo cual es necesario el desarrollo de modelos de predicción.

El modelo quimiométrico relaciona la información espectral de las muestras que constituyen el colectivo de aprendizaje con sus valores para el parámetro en estudio, proporcionados por un método de referencia. Una vez desarrollado el modelo, éste permite predecir el contenido de otras muestras de características similares a las incluidas en el grupo de entrenamiento o calibración.

El modelo puede ser bastante complejo, dado que el espectro recogido en la zona del infrarrojo cercano es altamente variable, y contiene información físico-química de la muestra. Cada espectro Vis/NIR contiene una importante cantidad de información, en muchos casos redundante, con superposición de bandas de absorción a lo largo de todo el espectro, lo que dificulta en muchos casos la extracción de información relevante. Ello implica que en la región Vis/NIR sea difícil encontrar longitudes de onda específicas, y que sea necesario recurrir a métodos de calibración multivariantes, es

decir, basados en la combinación de las absorbancias a varias longitudes de onda (Naes *et al.*, 2002).

Para extraer la información química relevante de cada muestra es necesario recurrir al uso de pre-tratamientos de la señal espectral, que permiten separar la información meramente química de las variaciones de origen físico (textura, tamaño, geometría de las partículas, etc.).

Los pre-tratamientos más tradicionalmente utilizados son la derivación, y los tratamientos de corrección del efecto "scatter" o radiación dispersa denominados corrección multiplicativa del efecto del scatter, Standard Normal Variate (SNV) y Detrend (DT) (Shenk y Westerhaus, 1995; Naes *et al.*, 2002).

Después de los pre-tratamientos de la señal espectral, los siguientes pasos están orientados a desarrollar una ecuación de calibración capaz de predecir parámetros de calidad de otras muestras con características similares a las incluidas en el colectivo de aprendizaje (Shenk y Westerhaus, 1995; Williams y Sobering, 1996).

Un buen método de calibración debe satisfacer una serie de requerimientos. En primer lugar, los modelos matemáticos aplicados deben realizar una estimación eficiente y, por otro lado, resolver el problema de colinealidad, que es bastante acusada cuando se trabaja con información espectroscópica NIRS, provocando la inestabilidad de las predicciones (Pérez-Marín *et al.*, 2007). A su vez, los datos de referencia de las muestras obtenidos por laboratorio deben ser lo más precisos posibles, ya que los resultados obtenidos por un método secundario como NIRS tendrán una precisión similar al del método de análisis convencional usado como referencia y que dio origen a la calibración.

Disponer de un colectivo de calibración que aporte variabilidad, es tal vez uno de los factores más importantes en el desarrollo de ecuaciones NIRS. La variabilidad, en lo posible debe ser tanto espectral como física y química, similar a la que se espera posteriormente encontrar en el análisis de rutina diario de nuevas muestras.

La selección de muestras para constituir el colectivo de calibración puede ser realizada a través del uso de herramientas matemáticas diseñadas para la estructuración de la población y la selección de muestras representativas del colectivo.

Estos procedimientos previos se realizan para definir el colectivo de calibración, ya sea para la construcción de ecuaciones de calibración (análisis cuantitativo) como para modelos de clasificación (análisis cualitativo).

Para el desarrollo de una calibración existen diferentes métodos de regresión (Martens y Naes, 1989; Burns y Ciurczak, 1992), siendo los más utilizados en las aplicaciones cuantitativas NIRS la Regresión Lineal Múltiple (RLM o MLR), la Regresión por Componentes Principales (RCP ó PCR), la Regresión mediante Mínimos Cuadrados Parciales (RMCP o PLS) y la Regresión mediante Mínimos Cuadrados Parciales Modificada (RMCPM ó MPLS), siendo éstas dos últimas las más empleadas en aplicaciones agroalimentarias (Shenk y Westerhaus, 1995; Pérez-Marín *et al.*, 2007).

El método de regresión MPLS es una variante del PLS y aporta la ventaja de la estandarización, es decir, que los residuos NIR a cada longitud de onda, son divididos por la desviación estándar de los residuales a esa longitud de onda, antes de calcular el siguiente factor. Se dice que este método es a menudo más estable y preciso que el algoritmo PLS (Shenk y Westerhaus, 1995), siendo el número de factores de la regresión seleccionado por validación cruzada. La validación cruzada es un algoritmo

que selecciona diferentes colectivos de calibración y validación dentro de una población específica. El procedimiento consiste en dividir el colectivo de calibración en grupos (dependiendo del número de muestras). Cada grupo de validación es predicho una vez con la ecuación desarrollada a partir del resto de grupos. El procedimiento se repite hasta que todas las muestras hayan sido predichas una vez. Este procedimiento además previene el sobreajuste del modelo (Shenk y Westerhaus, 1995). Los errores de la misma son evaluados mediante el estadístico Error Típico de Validación Cruzada (ETVC) que es similar al Error Típico de Predicción (ETP).

El ETP es el estadístico más empleado para estimar la capacidad de predicción de una ecuación de calibración NIRS, entendido también como la desviación típica de las diferencias, para un colectivo de validación, entre el valor determinado mediante el método de referencia y el valor estimado mediante el análisis NIRS (Shenk y Westerhaus, 1995).

1.7 Análisis de las investigaciones realizadas sobre el tema objeto de estudio.

La determinación no destructiva de la calidad interna de la fruta es un objetivo prioritario en las investigaciones más recientes. La espectroscopia es una técnica ampliamente usada como método de análisis cuantitativo y cualitativo, para lo cual es necesario el desarrollo de modelos de predicción (Nicacia *et al.*, 2011).

Es a partir de los años ochenta, y sobre todo en los noventa, cuando esta tecnología ha experimentado un mayor desarrollo y sus aplicaciones se han extendido a nuevos campos, gracias a la labor investigadora llevada a cabo en diferentes países (McClure, 2003). Definida como una técnica no destructiva alternativa a los métodos tradicionales de análisis, la espectroscopia es una técnica, rápida, de gran precisión y exactitud,

siempre que se sigan los procedimientos adecuados para generar los modelos de predicción requeridos (Martens y Naes, 1989).

El análisis espectroscópico ha crecido en popularidad debido a su capacidad de proporcionar rápidamente una información cualitativa y cuantitativa de muchos productos. Las características no invasivas ni destructivas de esta técnica, la hacen una nueva herramienta para la garantía de la calidad de línea (Silva y Valverde, 2010). Es por ello que es una técnica muy utilizada y se ha hecho obligatorio e imprescindible su estudio por profesionales e investigadores.

En el sector de frutas y hortalizas, la espectroscopia ha sido empleada con el fin de desarrollar modelos de predicción de parámetros de calidad interna como el contenido en sólidos solubles totales, acidez, firmeza, contenido en sacarosa, fructosa, sorbitol, clorofila A, ácido málico, etc., de diferentes frutas y hortalizas, como recogen los distintos trabajos de revisión publicados (Nicolai *et al.*, 2007; Saranwong y Kawano, 2007).

Así mismo, dicha tecnología ha sido aplicada con el objeto de determinar fecha de recolección, evolución de la calidad en campo y en poscosecha, genotipo, variedad, defectos internos, presencia de hongos y levaduras, entre otros (Mehinagic *et al.*, 2004; Saranwong *et al.*, 2004; Serégely *et al.*, 2004; Kleynen *et al.*, 2005; McGlone *et al.*, 2005; Peirs *et al.*, 2005; Han *et al.*, 2006; Delwiche *et al.*, 2008).

Cayuela *et al*. (2009) publicaron un artículo donde hacen una breve revisión del estado de la tecnología NIR aplicada a la predicción de la calidad interna de cítricos. En la investigación plantean que está bien establecido en la literatura científica que existe buena correlación entre la aceptación del consumidor y el contenido de sólidos solubles (CSS) en diferentes clases de frutos.

Por otra parte, la aplicación industrial de la espectroscopia NIR a la clasificación en línea de frutos según su CSS se inició en Japón en 1990 y se ha aplicada en líneas de clasificación de frutos en centrales de envasado para el contenido de azúcares de cítricos, manzanas, peras y melocotones desde mediados de los 90 en Japón y más recientemente en otros países. Actualmente, la utilización de la tecnología NIR a medidas no destructivas de la calidad de frutas está en desarrollo. Los instrumentos disponibles comercialmente para estas aplicaciones son pocos y de tecnología constructiva diversa, requiriéndose la evaluación científica de modelos predictivos para la medida de los parámetros más importantes de la calidad interna de frutas.

Según Valcárcel (2009) la espectroscopia es una técnica prometedora para la predicción de la composición de sustancias químicas de diversa naturaleza implicadas en la calidad interna del tomate. Además de tratarse de una técnica rápida y no destructiva que permite predecir en campo con un error razonable, por lo que es muy útil para realizar una primera preselección cuando se trabaja con un número elevado de muestras.

González (2012) desarrolló modelos NIR precisos y robustos destinados a la determinación de los principales parámetros de calidad interna (contenido de sólidos solubles y en azúcares reductores, pH, acidez titular, contenidos en ácido tartárico, ácido málico, y en potasio) de uvas de vinificación durante su maduración en campo, en el momento de cosecha y en su recepción en bodega, utilizando el racimo como forma de presentación de muestra a los instrumentos, con el fin de permitir a los agricultores y bodegueros, el uso rutinario de la tecnología NIR en la industria vitinivinícola para predecir con mayor precisión el momento óptimo de vendimia y la

calidad inicial de las uvas a su llegada a la industria, garantizando así la más alta calidad posible tanto de la uva como del vino a elaborar.

1.8 Conclusiones parciales

La importancia del consumo de la fruta bomba se basa en su alto nivel nutricional y contenido de vitaminas lo que resulta de gran interés para la industria farmacéutica y alimenticia favoreciendo el crecimiento productivo registrado en la década actual.

El incremento en la producción de papaya en el mundo es principalmente el resultado del área dedicada a esta actividad en la India.

Los indicadores de calidad de las frutas, los cuales definen su valor comercial están definidos por el aspecto externo, la ausencia de defectos, el color y el tamaño. No obstante, la tendencia actual es que los consumidores esperen que la fruta tenga una agradable textura y sabor, que sea segura desde el punto de vista microbiológico y esté libre de residuos fitosanitarios.

Las técnicas no destructivas pueden ser usadas para la determinación de parámetros de calidad física y química de las frutas. Mediante el uso de estos métodos se reduce considerablemente el tiempo de las pruebas y aumenta la calidad de las mismas.

La tecnología NIR es una técnica no destructiva que combina rapidez y precisión en la medida, con una gran versatilidad, sencillez de presentación de la muestra, velocidad de recogida de datos y bajo coste. Esta técnica tiene el potencial de llegar a ser un instrumento de uso habitual para la clasificación de frutas según su calidad interna.

La espectroscopia NIR recoge tanto la información química como la física lo que nos permite determinar ambos tipos de propiedades a partir de un único análisis.

Capítulo II

Capítulo 2. Materiales y Métodos

2.1 Metodología para la selección de las muestras

El presente trabajo de investigación se desarrolló en el Departamento de Ingeniería Agrícola de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas (UCLV), en el período comprendido de febrero 2013 a diciembre de 2014. Se seleccionó la variedad de fruta bomba “Maradol roja” para dar cumplimiento a los objetivos ya que esta es un cultivar de origen cubano, que produce más de 15 frutos por planta, los cuales presentan gran consistencia y además se encuentra dentro de las tres variedades de fruta bomba más cultivadas en el mundo. Los frutos seleccionados como población inicial fueron cosechados por el Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales (INIVIT), institución científica perteneciente al Ministerio de la Agricultura (MINAG) ubicada en el municipio de Santo Domingo de la provincia Villa Clara; dedicada por más de 45 años a la investigación–desarrollo y producción de semillas en viandas tropicales y fruta bomba. Es además, el centro responsabilizado en la conservación, ampliación y caracterización de los recursos fitogenéticos de todas las especies de raíces, rizomas, tubérculos tropicales, plátanos y bananos. Se subdividieron en subgrupos de acuerdo al grado de maduración que presentaban los frutos y se trasladaron a los laboratorios de la Facultad de Química

Farmacia perteneciente a la UCLV para su análisis por el método convencional utilizado en el laboratorio químico.

2.2 Metodología para el cálculo de la muestra

Para el cálculo de la muestra se realizó un pre-experimento con un total de 8 frutos tomados al azar, calculándose la media y la varianza de las variables analizadas, y luego mediante la siguiente fórmula de Carballo y Prado (1980) se calculó la muestra, con un error de la media de 0,05 y un nivel de confianza del 95%.

$n = (t^2 \cdot \sigma^2) / \Delta^2$

donde:

n- tamaño de la muestra

t^2- criterio de Student.

σ^2- varianza

Δ^2- error de la media

Al sustituir los valores en la fórmula, el cálculo de la muestra es 12, por lo tanto se analizaron 12 frutos por subgrupo o tratamiento.

2.3 Metodología para la realización de los análisis químicos

2.3.1 Metodología para la determinación del pH (NC-ISO 1842, 2001)

Pese 30 g de pulpa y colóquela en un mezclador de cocina añadiendo 90 ml de agua destilada, luego licúe durante 2 minutos y filtre a través de un papel de filtro.

Encender el medidor de pH (HANNA pH 212) 15 minutos antes de comenzar a medir y calibrarlo.

Lave el electrodo del medidor de pH (HANNA pH 212) en agua destilada y colóquelo en el filtrado.

Deje unos minutos para que el medidor se estabilice antes de realizar la lectura. Registre el valor del pH del filtrado. Lave el electrodo del medidor con agua destilada y guárdelo como lo recomiendan las instrucciones del fabricante.

2.3.2 Metodología para la determinación de la acidez titular total (NC-ISO 750, 2001)

Se calibra el potenciómetro (HANNA pH 212) con las soluciones tampón.

Se lavan varias veces los electrodos con agua, hasta que la lectura en agua recién hervida y enfriada sea aproximadamente de pH 6.0

Se miden 25 ml de la muestra preparada y diluida.

La muestra medida se transfiere a un vaso de precipitados de 400 ml y se diluye aproximadamente a 50 ml con agua recién hervida, enfriada y neutralizada.

Los electrodos perfectamente lavados se introducen en la muestra agitando con moderación se agrega rápidamente la solución 0.1N de hidróxido de sodio hasta alcanzar un pH cercano a 6.0, luego se continúa agregado lentamente la solución de hidróxido de sodio hasta alcanzar pH 7.0

Después de que se ha alcanzado el pH, se termina la titulación agregando el hidróxido de sodio en porciones de 4 gotas a la vez hasta lograr un pH 8.3, se anota la lectura del pH y el volumen total de hidróxido de sodio gastado después de cada adición.

Se deduce por interpolación el volumen exacto de solución 0.1N de hidróxido de sodio correspondiente al valor de pH 8.3, promediando los resultados obtenidos.

Los resultados se expresan en mililitros de solución 0.1N de hidróxido de sodio por cada 100 g o 100 ml de producto o bien en gramos del ácido predominante del producto por cada 100 g o 100 ml de éste.

Miliequivalentes del ácido en términos del cual se expresa la acidez sabiendo que: 1 ml de la solución 0.1N de hidróxido de sodio equivale a:

0.006005 g de ácido acético anhidro.

0.006404 g de ácido cítrico anhidro.

0.007505 g de ácido tartárico anhidro.

0.006704 g de ácido málico anhidro.

0.004502 g de ácido oxálico anhidro.

0.009008 g de ácido láctico anhidro.

2.3.3 Metodología para la determinación del Brix (NC-ISO 2173, 2001)

Licúe en un mezclador de cocina 30 g de tejido de pulpa (de la sección transversal de la fruta) en 90 ml de agua destilada, durante 2 minutos y luego filtre la mezcla.

Coloque una gota del filtrado en el prisma del refractómetro ($\propto$ ATAGO Digital Thermometer), dirija el refractómetro hacia una fuente de luz y lea el porcentaje de sólidos solubles totales.

2.4 Metodología para la determinación de los espectros de reflectancia

Para el análisis de las muestras, se configuran los espectros VIS/NIR de reflectancia, como se observa en la figura 6. Se compone de un espectrofotómetro de red de diodos (corona plus distancia VIS/NIR Zeiss, Jena, Alemania) y un OMK500-H cabezal de medición conectado a un haz de fibra óptica.

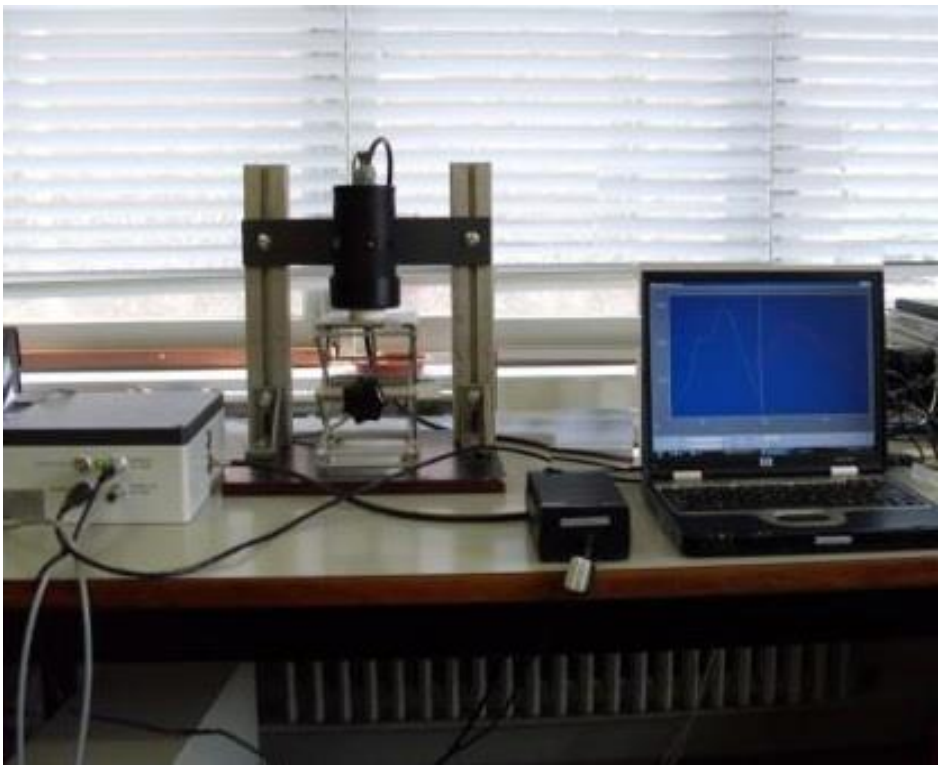


Figura 6. Espectrofotómetro de red de diodos; a la izquierda se encuentra la corona plus distancia VIS/ NIR Zeiss, Jena, Alemania y en el centro está el cabezal de medición conectado a un haz de fibra óptica OMK500-H y a la derecha la PC. Fuente: (Chacón, 2014)

La cabeza de medición 500-H OMK ha sido diseñada para la medición de dispersión densa y para muestras relativamente heterogéneas en el modo de reflectancia difusa. Es especialmente adecuado para muestras on-line, la medición de la reflectancia difusa con variación continua y una distancia entre la cabeza de medición y la superficie de la muestra.

Las especificaciones del OMK 500-H-NIR cabezal de la medición se resumen en la tabla 6. Contiene una lámpara halógena de 10 W, alimentado por una fuente de alimentación de 5 V a través de un cable eléctrico. Un sistema proporciona iluminación óptica de la muestra a 0° en un haz casi paralelo. En el cabezal de medición del color,

15 fibras ópticas individuales están dispuestas de manera uniforme en un anillo de observación de la muestra a 45°.

Tabla 1. Datos técnicos del OMK 500-H-NIR cabezal de la medición

OMK 500 cabezal de medición Componentes	**Propiedades**
Rango espectral	270…1702 nm
Tiempo de medición de la muestra	< 2 s
Rango de la medida	380-1702 nm
% de ruido	∆ R < 0.04 % R
Sensibilidad variante a la distancia	X ± 1 mm dR < 0.2 %
Tiempo de la integración para la desviación de la balanza llena	< 100 ms
fuente ligera	lámpara de halógeno 5V, 10W, estabilizada
vida de la lámpara	aprox. 3 000 horas
conector de fibra	2x Zeiss-conector
Vista geométrica	15 x 24 º circular bajo 45º
Ángulo iluminado	0º
Tamaño de la mancha	aprox. 20 mm
La longitud de fibra óptica	1 m … 10 m
Peso	1.3 Kg
Dimensiones	100 mm x 100 mm x 197 mm (Lx A x H)
Protección de acercamiento	IP 55

Las fibras se encuentran agrupadas por una guía de luz que está conectado al espectrofotómetro. Además la conexión de guía de luz para el canal de medición se encuentra en la parte frontal del instrumento. El ordenador (PC) está conectado al espectrofotómetro a través de un Ethernet interfaz. La configuración mínima se determina por el software utilizado (*Aspect-plus* suministrada por Carl Zeiss Jena). No hay operaciones en que se requiera de otro dispositivo, ya que el control se maneja a través del software, en la PC. Varios paquetes de software están disponibles para este sistema de medición.

El VIS/NIR de reflectancia espectral fue adquirido para todas las muestras tomadas. Todos los espectros se obtuvieron utilizando los mismos ajustes del instrumento: medida en el modo de reflexión, longitud de onda 380-1702 nm. Los tiempos de

integración fueron: para el Vis (143,5 ms) y los NIR (200 ms). Una pequeña cantidad de la muestra (aproximadamente 15 g) se colocó en una placa de Petri de 10 mm de profundidad y 35 mm de diámetro. Cada placa de Petri con aproximadamente 15 g de la muestra se coloca debajo del sensor en el centro del punto de coordinación. Luego se tomaron tres espectros de reflectancia sobre la zona central de la placa de Petri, a una rotación de la muestra de aproximadamente 120°. Los tres espectros de cada muestra se promediaron para obtener un espectro promedio por muestra.

Para la determinación de los espectros cada fruto se dividió en 4 partes iguales como se muestra en la figura 7, debido a que la fruta bomba no madura de forma uniforme, y de esta forma ampliamos el número de muestras a 48 y el número de espectros a 144 por tratamiento, analizándose por el espectrofotómetro cada muestra de la siguiente manera, fruta bomba con cáscara batida, fruta bomba con cáscara entera, fruta bomba sin cáscara batida y fruta bomba sin cáscara entera.

Figura 7. Muestras de los cortes realizados a las frutas

2.5 Metodología para el procesamiento de los resultados

Cada lectura del espectro se guardó como un archivo independiente (.csv) y, a continuación fueron transportados para el Excel. Se partió del análisis de la distribución de frecuencia de los datos correspondientes a las variables pH, sólidos solubles y acidez titular y sus respectivos estadígrafos descriptivos. Para analizar las correlaciones o dependencias entre el pH, los sólidos solubles y la acidez titular con los diferentes valores de reflectancia. Se analizó la correlación del pH, los sólidos solubles y la acidez titular con él % de reflectancia para cada valor de clase, a partir de un análisis de regresión multidimensional. Para realizar estos procesamientos estadísticos se utilizó el software *Unscrambler*, el cual es una herramienta integral de análisis de datos para Estadística Exploratoria, Análisis Multivariado, Clasificación, Predicción y Diseño de Experimentos.

En cada uno de los tratamientos se correlacionaron los parámetros químicos, con la reflectancia espectral de las diferentes muestras por medio del modelo de regresión PLS (Mínimos Cuadrados Parciales).

La regresión de mínimos cuadrados parciales (PLS) parte de la premisa de que la información espectral es función de unas pocas variables linealmente independientes, teniendo en cuenta para el cálculo de dichas variables no solo la información espectral sino además el valor de referencia del parámetro medido para cada muestra.

Las regresiones PLS tratan de encontrar variables latentes que maximicen la varianza explicada por las variables de predicción (X, en este caso los espectros NIR) que es relevante para predecir la variable respuesta (Y, para nosotros cada una de las variables analíticas medidas).

El método de pre-tratamiento espectral utilizado fue el de *Corrección de Señal Multiplicativa (MSC), Primera Derivada de Savitzky – Golay, Suavizado y Centrado medio*, con el fin de mejorar la capacidad de predicción de los modelos construidos. Los modelos de regresión PLS fueron evaluados con la técnica de validación cruzada (*Leave One Out*), para optimizar la complejidad del mismo.

Capítulo III

Capítulo 3. Resultados y Discusión

Los factores químicos más relevantes en la calidad de la fruta son la concentración de los sólidos solubles totales, la acidez total y el pH, los cuales se relacionan con el contraste de dulzura y acidez característica de la fruta.

3.1 Determinación de los parámetros químicos que determinan la calidad de la fruta bomba.

Los menores resultados en cuanto al pH y a los sólidos solubles totales (ºBrix) (Tabla 2 y 3) se observaron en el tratamiento 1, subgrupo de frutos con 3 días poscosecha con diferencias estadísticas significativas con relación a los demás subgrupos.

Tabla 2. Análisis del pH y ºBrix de las muestras de fruta bomba sin cáscara según tratamiento.

Tratamiento	pH	ºBrix
T1	4.34 b	2.33 c
T2	5.84 a	4.77 a
T3	5.93 a	4.37 a
T4	5.88 a	3.70 b
E.E (ȳ)±	**0.05**	**0.11**

*** Medias con letras no comunes en la misma columna difieren para Scheffe (p ≤ 0.05)**

Leyenda-

T1- subgrupo con 3 días poscosecha; T2- subgrupo con 6 días poscosecha;
T3- subgrupo con 9 días poscosecha; T4- subgrupo control.

Tabla 3. Análisis del pH y ºBrix de las muestras de fruta bomba con cáscara según tratamiento.

Tratamiento	pH	ºBrix
T1	5.27 b	3.10 c
T2	5.53 a	4.86 a
T3	5.75 a	4.46 a
T4	5.67 a	4.00 b
E.E (ȳ)±	**0.09**	**0.23**

*** Medias con letras no comunes en la misma columna difieren para Scheffe (p ≤ 0.05)**
Leyenda-
T1- subgrupo con 3 días poscosecha; T2- subgrupo con 6 días poscosecha;
T3- subgrupo con 9 días poscosecha; T4- subgrupo control.

El pH se ve influenciado por el estado de madurez de los frutos, un incremento en el estado de madurez ocasiona un aumento en el pH. Puede también explicarse por la presencia de un sistema de autorregulación del pH, resultado del efecto amortiguador del ácido cítrico, como ha sido descrito para diversos frutos por (Bruhn, 2007) y los resultados están dentro de los rangos obtenidos por otros autores (Cerdas y Sáenz, 1993; NC-ISO 2173, 2001; Santamaría *et al.*, 2009). A medida que incrementa el estado de madurez en los frutos se presenta un aumento en los sólidos solubles totales. Este comportamiento en los sólidos solubles, se explica por la hidrólisis de diversos polisacáridos estructurales tales como almidón, pectinas de la pared celular, hasta sus componentes monoméricos básicos, por lo cual se acumulan azúcares, principalmente glucosa, fructosa y sacarosa (Boada *et al.*, 1994) que son los constituyentes principales de los sólidos solubles; estos resultados coinciden con lo encontrado por (Arrieta *et al.*, 2006). El mayor aumento en azúcares ocurre cuando el fruto empieza a tornarse amarillo acelerándose la síntesis de estos compuestos hasta alcanzar la coloración naranja.

En cuanto a la acidez titular hubo diferencias significativas entre los promedios de los diferentes grupos, observándose los mayores resultados en el grupo de frutos de 3 días, y con diferencias estadísticas con relación a los demás (Tabla 4 y 5).

Tabla 4. Comportamiento de la acidez titular total de las muestras de fruta bomba sin cáscara según tratamiento.

Tratamiento	Gasto de NaOH	AAc ($C_2H_4O_2$)	ACí ($C_6H_8O_7$)	ATa ($C_4H_6O_6$)	AMa ($C_4H_6O_5$)	AOx ($H_2C_2O_4$)	ALa ($C_3H_6O_3$)
T1	5.63 a	0.034 a	0.036 a	0.042 a	0.038 a	0.025 a	0.051 a
T2	4.23 ab	0.025 ab	0.027 ab	0.032 ab	0.028 ab	0.019 ab	0.038 ab
T3	3.20 b	0.019 b	0.020 b	0.024 b	0.021 b	0.014 b	0.029 b
T4	3.70 b	0.022 ab	0.024 ab	0.028 b	0.025 b	0.017 b	0.033 b
E.E (ȳ)±	**0.33**	**0.002**	**0.002**	**0.002**	**0.002**	**0.001**	**0.002**

*** Medias con letras no comunes en la misma columna difieren para Scheffe (p ≤ 0.05)**

Leyenda-

T1- subgrupo con 3 días poscosecha; T2- subgrupo con 6 días poscosecha;
T3- subgrupo con 9 días poscosecha; T4- subgrupo control.
AAc- ácido acético; ACí- ácido cítrico; ATa- ácido tartárico; AMa- ácido málico;
AOx- ácido oxálico; ALa- ácido láctico.

Tabla 5. Comportamiento de la acidez titular total de las muestras de fruta bomba con cáscara según tratamiento.

Tratamiento	Gasto de NaOH	AAc ($C_2H_4O_2$)	ACí ($C_6H_8O_7$)	ATa ($C_4H_6O_6$)	AMa ($C_4H_6O_5$)	AOx ($H_2C_2O_4$)	ALa ($C_3H_6O_3$)
T1	5.5 a	0.033 a	0.035 a	0.041 a	0.036 a	0.024 a	0.049 a
T2	5.4 a	0.032 a	0.034 a	0.040 a	0.036 a	0.024 a	0.048 a
T3	4.6 b	0.028 a	0.029 b	0.035 b	0.031 a	0.021 a	0.042 a
T4	5.0 ab	0.030 a	0.032 ab	0.037 ab	0.033 a	0.022 a	0.045 a
E.E (ȳ)±	**0.22**	**0.001**	**0.001**	**0.001**	**0.001**	**0.001**	**0.001**

*** Medias con letras no comunes en la misma columna difieren para Scheffe (p ≤ 0.05)**

Leyenda-

T1- subgrupo con 3 días poscosecha; T2- subgrupo con 6 días poscosecha;
T3- subgrupo con 9 días poscosecha; T4- subgrupo control;
AAc- ácido acético; ACí- ácido cítrico; ATa- ácido tartárico; Ama- ácido málico;
AOx- ácido oxálico; ALa- ácido láctico.

El análisis de la acidez se realiza mediante el gasto de NaOH, por lo tanto, basta con analizar esta variable para comprender el comportamiento de todas las variables anteriores.

3.2. Variabilidad de los espectros de reflectancia VIS/NIR de las muestras de fruta bomba según tratamientos.

En las figuras 8; 9; 10 y 11 se muestra una representación gráfica de los espectros de reflectancia de las muestras de fruta bomba con cáscara y sin cáscara, en sus dos variantes (entera y batida), en función del rango de longitud de onda en la región VIS/NIR. Se observó que en la región visible (380 – 780 nm) la reflectancia tiende a ser menor entre los 379 – 513 nm, a partir de lo cual se incrementa considerablemente hasta aproximadamente los 780 nm. Por otra parte en la región NIR (780 – 1685 nm), se observó una mayor variabilidad de estos espectros, dado que hubo un pico de decrecimiento alrededor de los 978 nm, para posteriormente incrementarse hacia los 1050 nm y posteriormente decrecer hacia los 1184 nm. A partir de esta última longitud de onda se observó un pico de crecimiento alrededor de los 1308 nm, luego decrecen gradualmente hacia los 1424 nm y finalmente se obtuvo un ligero incremento hacia la longitud de onda final evaluada (1685 nm).

En cada uno de los tratamientos la curva que mostró los mayores valores de reflectancia hacia el final del rango seleccionado, correspondió a las muestras analizadas con cáscara entera (color gris). No obstante, al respecto se observaron diferencias entre los diferentes tratamientos, dado que en las muestras de los tratamientos de 3 y 6 días poscosecha, dichos valores se observaron a partir de los

1184 nm, mientras que en los tratamientos de 9 días poscosecha y refrigeradas, hubo una definición más clara a partir de los 780 nm.

Los picos de reflectancia observados en la región NIR pueden deberse fundamentalmente a los enlaces O-H, C-H y N-H. Esto coincide con lo reportado por Nicolai *et al.* (2007), respecto a que los espectros están dominados por las bandas de absorción del agua, así como por enlaces -OH, fundamentalmente en las longitudes de onda 760 nm y 970 nm.

Otro aspecto importante a destacar es que solamente en las curvas correspondientes a los espectros de las muestras con cáscara de todos los tratamientos, se observó un ligero pico de decrecimiento entre los 647 – 714 nm, el cual en la medida en que se incrementan los días de poscosecha tiende a ser menos pronunciado, e incluso es casi nulo en las muestras de los 9 días poscosecha, donde la cáscara de la fruta bomba es menos gruesa y su dureza característica tiende a ser más endeble. A su vez, estos resultados pudieran estar influenciados por la presencia de una mayor cantidad de clorofila en las cáscaras de las muestras de menores días poscosecha. Lo anterior coincide con lo reportado por Christensen (2004), Imanishi *et al.* (2004), Cho y Skidmore (2006).

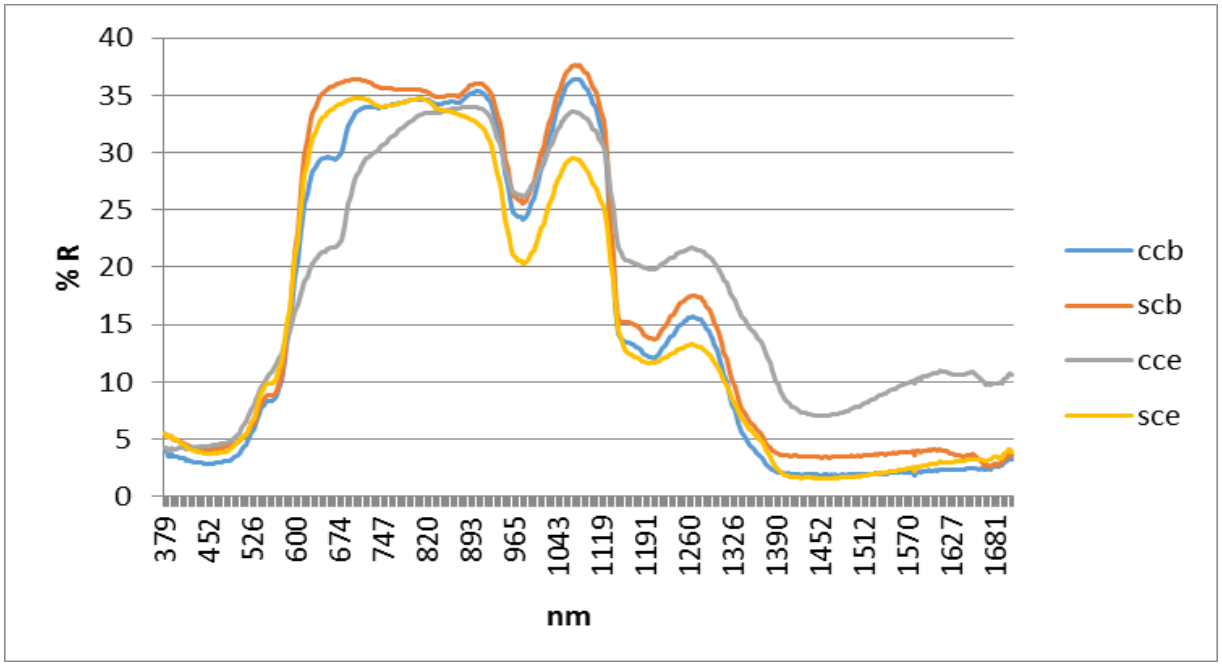


Figura 8. Curvas promedio del espectrofotómetro para las muestras del tratamiento 1.

Leyenda-

ccb- futa bomba con cáscara batida; scb- fruta bomba sin cáscara batida; cce- fruta bomba con cáscara entera; sce- futa bomba sin cáscara entera.

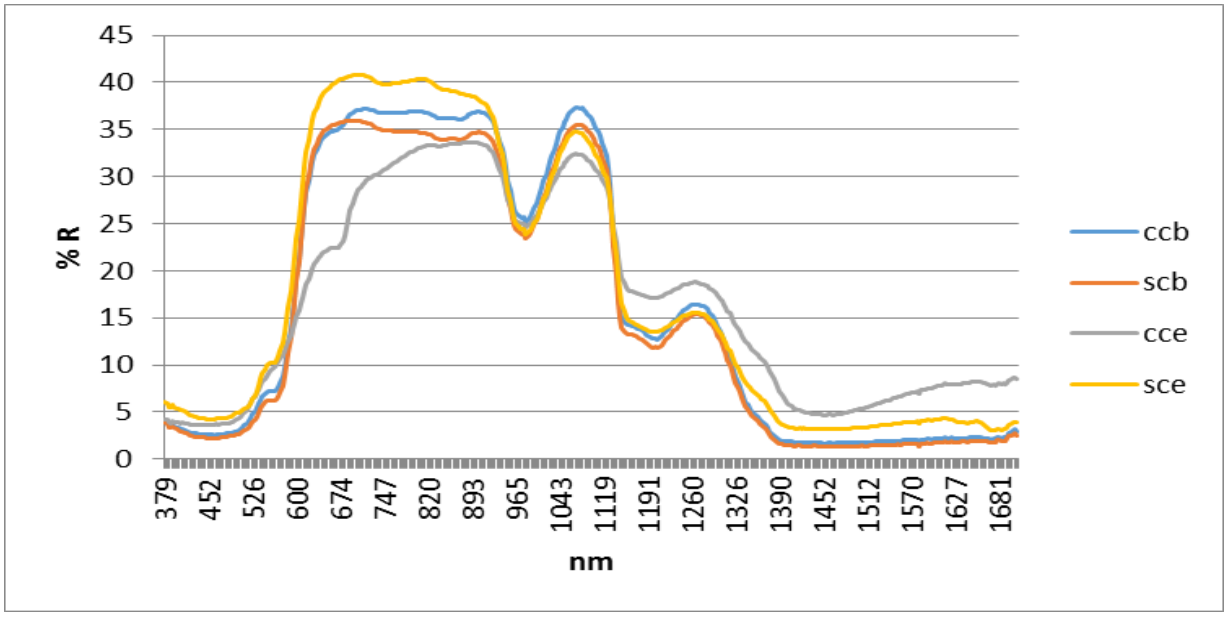


Figura 9. Curvas promedio del espectrofotómetro para las muestras del tratamiento 2.

Leyenda-

ccb- futa bomba con cáscara batida; scb- fruta bomba sin cáscara batida; cce- fruta bomba con cáscara entera; sce- futa bomba sin cáscara entera.

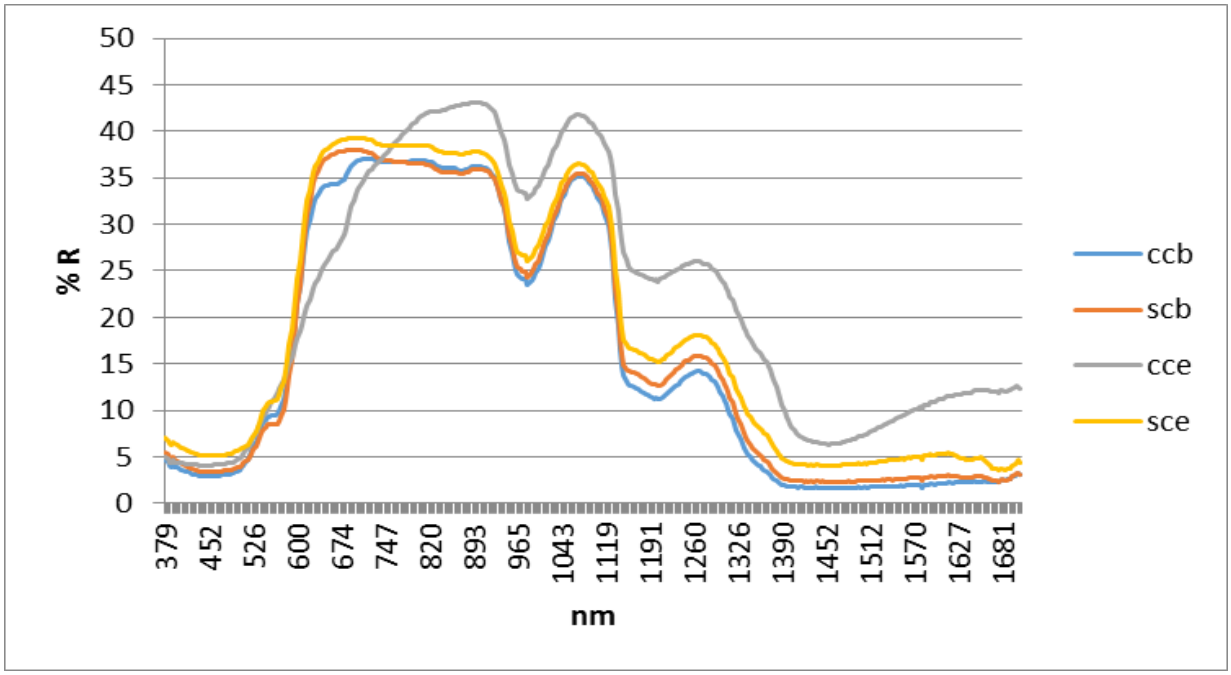


Figura 10. Curvas promedio del espectrofotómetro para las muestras del tratamiento 3.

Leyenda-

ccb- futa bomba con cáscara batida; scb- fruta bomba sin cáscara batida; cce- fruta bomba con cáscara entera; sce- futa bomba sin cáscara entera.

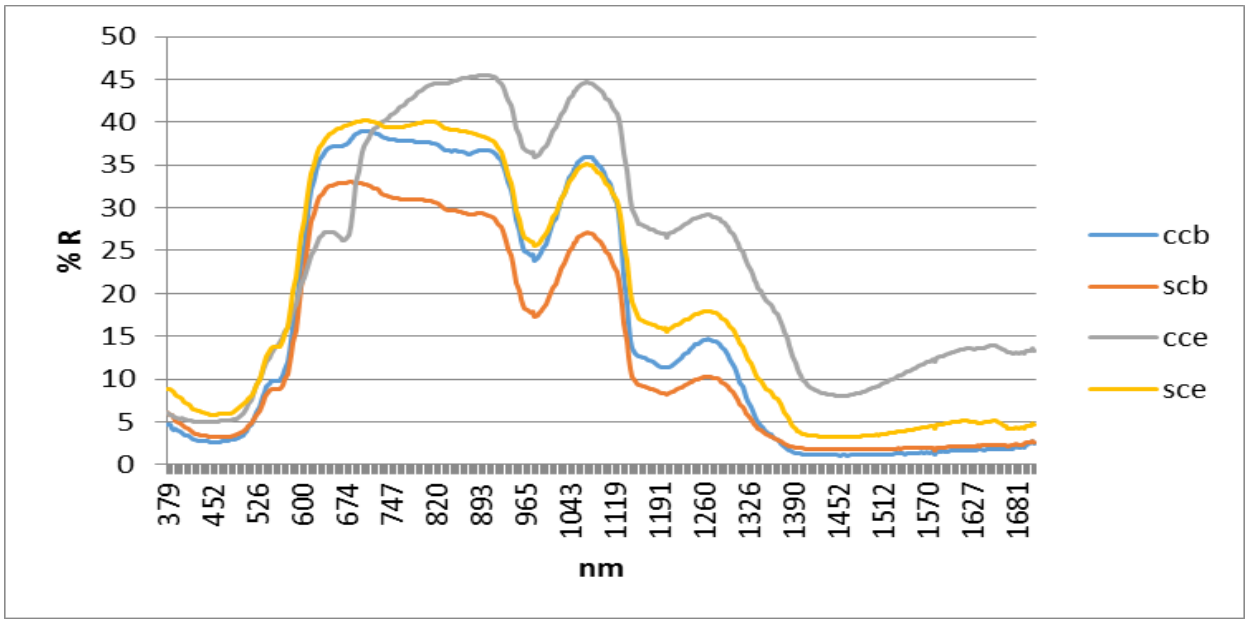


Figura 11. Curvas promedio del espectrofotómetro para las muestras del tratamiento 4.

Leyenda-

ccb- futa bomba con cáscara batida; scb- fruta bomba sin cáscara batida; cce- fruta bomba con cáscara entera; sce- futa bomba sin cáscara entera.

3.3 Correlación entre los parámetros químicos y la reflectancia espectral Vis/NIR de las muestras de fruta bomba.

En la Tabla 6 se muestran los modelos PLS que permitieron comparar la precisión de la predicción VIS/NIR del pH en los diferentes tratamientos de las muestras sin cáscara. Se observó una predicción inferior al 70 % en los tratamientos de los diferentes días poscosecha e igual al 70 % en las muestras refrigeradas. Este último, además resultó ser mejor modelo en base al coeficiente RPD determinado.

Tabla 6. Correlación del pH y la reflectancia espectral Vis/NIR en frutas sin cáscara según los diferentes tratamientos.

Tto	R^2C [a]	R^2CV [b]	RMSEC [c]	RMSECV [d]	RPD [e]	RER [f]	C Bias [g]	CV Bias [h]
T1	0.68	0.65	0.12	0.14	2.14	12.14	0.01	0.00
T2	0.64	0.62	0.12	0.15	1.91	8.98	0.01	0.03
T3	0.63	0.60	0.13	0.16	1.78	8.72	0.01	0.03
T4	0.74	0.70	0.08	0.10	2.50	10.40	0.00	0.00

Leyenda:

[a] R^2C - coeficiente de determinación de la calibración;
[b] R^2CV - coeficiente de determinación de la cros- validación;
[c] RMSEC- raíz cuadrada media del error de calibración;
[d] RMSECV- raíz cuadrada media del error de cros-validación;
[e] RPD- proporción de la desviación del resultado; [f] RER- proporción del rango de error;
[g] C Bias- desviación sistemática de la calibración; [h] CV Bias- desviación sistemática de la cros-validación;
T1- subgrupo con 3 días poscosecha; T2- subgrupo con 6 días poscosecha;
T3- subgrupo con 9 días poscosecha; T4- subgrupo control.

Por otra parte la determinación de los grados Brix y del gasto de NaOH en las muestras sin cáscara, mostró un mayor coeficiente R^2CV de 0.63 solo en las muestras refrigeradas, dado que el resto estuvo por debajo de 0.60 (Tablas 7 y 8). Estos resultados están en correspondencia con lo observado en el pH.

Tabla 7. Correlación estadística del Brix y la reflectancia espectral Vis/NIR en frutas sin cáscara según los diferentes tratamientos.

Tto	R^2C [a]	R^2CV [b]	RMSEC [c]	RMSECV [d]	RPD [e]	RER [f]	C Bias [g]	CV Bias [h]
T1	0.60	0.57	0.16	0.18	1.12	4.18	0.11	0.13
T2	0.60	0.54	0.20	0.22	0.96	4.90	0.11	0.13
T3	0.58	0.55	0.20	0.22	0.86	4.44	0.16	0.17
T4	0.67	0.63	0.14	0.16	1.38	5.77	0.09	0.11

Leyenda:

[a] R^2C - coeficiente de determinación de la calibración;
[b] R^2CV - coeficiente de determinación de la cros- validación;
[c] RMSEC- raíz cuadrada media del error de calibración;
[d] RMSECV- raíz cuadrada media del error de cros-validación;
[e] RPD- proporción de la desviación del resultado; [f] RER- proporción del rango de error;
[g] C Bias- desviación sistemática de la calibración; [h] CV Bias- desviación sistemática de la cros-validación;
T1- subgrupo con 3 días poscosecha; T2- subgrupo con 6 días poscosecha;
T3- subgrupo con 9 días poscosecha; T4- subgrupo control.

Tabla 8. Correlación estadística del gasto de NaOH y la reflectancia espectral Vis/NIR en frutas sin cáscara según los diferentes tratamientos.

Tto	R^2C [a]	R^2CV [b]	RMSEC [c]	RMSECV [d]	RPD [e]	RER [f]	C Bias [g]	CV Bias [h]
T1	0.58	0.54	0.21	0.23	1.33	15.74	0.14	0.16
T2	0.57	0.53	0.22	0.25	1.01	5.05	0.20	0.22
T3	0.56	0.52	0.24	0.28	0.79	7.93	0.21	0.25
T4	0.65	0.63	0.19	0.21	1.60	4.47	0.13	0.14

Leyenda:

[a] R^2C - coeficiente de determinación de la calibración;
[b] R^2CV - coeficiente de determinación de la cros- validación;
[c] RMSEC- raíz cuadrada media del error de calibración;
[d] RMSECV- raíz cuadrada media del error de cros-validación;
[e] RPD- proporción de la desviación del resultado; [f] RER- proporción del rango de error;
[g] C Bias- desviación sistemática de la calibración; [h] CV Bias- desviación sistemática de la cros-validación;
T1- subgrupo con 3 días poscosecha; T2- subgrupo con 6 días poscosecha;
T3- subgrupo con 9 días poscosecha; T4- subgrupo control.

Los modelos PLS para la predicción VIS/NIR del pH en los diferentes tratamientos de las muestras con cáscara, mostraron un coeficiente R^2CV superior a 0.70 solo en las muestras refrigeradas (Tabla 9).

Tabla 9. Correlación estadística del pH y la reflectancia espectral Vis/NIR en frutas con cáscara según los diferentes tratamientos.

Tto	R^2C [a]	R^2CV [b]	RMSEC [c]	RMSECV [d]	RPD [e]	RER [f]	C Bias [g]	CV Bias [h]
T1	0.71	0.68	0.15	0.17	1.01	5.33	0.01	0.02
T2	0.66	0.64	0.20	0.22	0.78	4.36	0.01	0.03
T3	0.66	0.62	0.20	0.22	0.78	4.08	0.01	0.03
T4	0.77	0.75	0.12	0.15	1.13	6.07	0.00	0.00

Leyenda:

[a] R^2C - coeficiente de determinación de la calibración;
[b] R^2CV - coeficiente de determinación de la cros- validación;
[c] RMSEC- raíz cuadrada media del error de calibración;
[d] RMSECV- raíz cuadrada media del error de cros-validación;
[e] RPD- proporción de la desviación del resultado; [f] RER- proporción del rango de error;
[g] C Bias- desviación sistemática de la calibración; [h] CV Bias- desviación sistemática de la cros-validación;
T1- subgrupo con 3 días poscosecha; T2- subgrupo con 6 días poscosecha;
T3- subgrupo con 9 días poscosecha; T4- subgrupo control.

Por el contrario la predicción de los grados Brix mostró un coeficiente R^2CV inferior a 0.60 en todos los tratamientos, incluso por debajo de 0.50 en el tratamiento de 9 días poscosecha (Tabla 10) y la determinación del gasto de NaOH en las muestras con cáscara, mostró el mayor coeficiente R^2CV de 0.63 solo en las muestras refrigeradas, mientras que el resto estuvo por debajo de 0.60, lo cual coincide con lo observado en las muestras sin cáscara (Tabla 11).

Tabla 10. Correlación estadística del Brix y la reflectancia espectral Vis/NIR en frutas con cáscara según los diferentes tratamientos.

Tto	R^2C [a]	R^2CV [b]	RMSEC [c]	RMSECV [d]	RPD [e]	RER [f]	C Bias [g]	CV Bias [h]
T1	0.56	0.53	0.23	0.24	3.10	15.48	0.12	0.15
T2	0.54	0.51	0.25	0.27	2.65	6.62	0.17	0.20
T3	0.50	0.49	0.27	0.29	2.55	10.19	0.19	0.23
T4	0.60	0.56	0.21	0.22	4.28	12.40	0.11	0.13

Leyenda:

[a] R^2C - coeficiente de determinación de la calibración;
[b] R^2CV - coeficiente de determinación de la cros- validación;
[c] RMSEC- raíz cuadrada media del error de calibración;
[d] RMSECV- raíz cuadrada media del error de cros-validación;
[e] RPD- proporción de la desviación del resultado; [f] RER- proporción del rango de error;
[g] C Bias- desviación sistemática de la calibración; [h] CV Bias- desviación sistemática de la cros-validación;
T1- subgrupo con 3 días poscosecha; T2- subgrupo con 6 días poscosecha;
T3- subgrupo con 9 días poscosecha; T4- subgrupo control.

Tabla 11. Correlación estadística del gasto de NaOH y la reflectancia espectral Vis/NIR en frutas con cáscara según los diferentes tratamientos.

Tto	R^2C [a]	R^2CV [b]	RMSEC [c]	RMSECV [d]	RPD [e]	RER [f]	C Bias [g]	CV Bias [h]
T1	0.59	0.55	0.18	0.2	1.29	14.06	0.13	0.15
T2	0.57	0.53	0.20	0.23	1.21	8.29	0.13	0.16
T3	0.57	0.53	0.21	0.23	1.12	5.94	0.16	0.18
T4	0.63	0.61	0.16	0.18	1.49	5.81	0.10	0.12

Leyenda:

[a] R^2C - coeficiente de determinación de la calibración;
[b] R^2CV - coeficiente de determinación de la cros- validación;
[c] RMSEC- raíz cuadrada media del error de calibración;
[d] RMSECV- raíz cuadrada media del error de cros-validación;
[e] RPD- proporción de la desviación del resultado; [f] RER- proporción del rango de error;
[g] C Bias- desviación sistemática de la calibración; [h] CV Bias- desviación sistemática de la cros-validación:
T1- subgrupo con 3 días poscosecha; T2- subgrupo con 6 días poscosecha;
T3- subgrupo con 9 días poscosecha; T4- subgrupo control.

En correspondencia con lo planteado por Wold *et al.* (2001) cuando se utiliza PLS se asume que el sistema o proceso investigado está influenciado solo por unas pocas variables subyacentes (LV), y que hay parte de X que contiene información que no está relacionada con la matriz Y, que pueden constituir ruido u otros factores. A su vez, Labbé *et al*. (2008) considera la propuesta de algunas soluciones para abordar este problema, entre las se encuentran las transformaciones y técnicas de selección de variables, dado que a pesar de todas las ventajas que presenta PLS sobre otros métodos este no tiene un buen desempeño cuando se trabaja con datos no lineales.

Conclusiones

Conclusiones

1. Los parámetros químicos, acidez titular total, pH, y ^{0}Brix, que definen la calidad de la fruta bomba, mostraron cambios significativos durante los días de almacenamiento poscosecha.
2. En cada una de los tratamientos evaluados se identificaron las regiones espectrales más influyentes, observándose los mayores valores de reflectancia hacia el final de los 1685 nm de la región NIR en las muestras analizadas con cáscara entera.
3. Las correlaciones entre los parámetros químicos y la variabilidad de la reflectancia espectral por medio del método de regresión PLS, correspondieron al pH con valores de R2 iguales o superiores a 0.70 para las muestras analizadas sin cáscara y con cáscara respectivamente en el tratamiento 4.

Recomendaciones

Recomendaciones

1. Ampliar el rango de análisis de esta investigación para la determinación cuantitativa y no destructiva VIS/NIR en otras variedades de fruta bomba.
2. Utilizar la técnica de espectroscopia VIS/NIR para determinar los niveles de contaminación por fertilizantes en frutas y tubérculos.

Bibliografía

Bibliografía

ABBOTT, J.: "Quality measurement of fruits and vegetables.", *Postharvest Biol. Technol.*, 15: 207-225, 1999.

AGROPECUARIA: Monografía de la papaya. Veracruz, pp. 2010.

ALFONSO, M.: *Guía técnica del cultivo de la papaya, Ed.* Impresos Multiples, 600, El Salvador, 2010.

ARRIETA, A.; U. BAQUERO y J. BARRERA: "Caracterización fisicoquímica del proceso de maduración del plátano "Papocho" (Musa ABB Simmonds)", *Agronomía Colombiana*: 2006.

AVILAN, L. y C. RENFIGO: *El lechosero*, 2da Edición ed, Maracay, Venezuela, 2001.

BOADA, A.; M. LAURES; J. L. AZUM; M. T. PASTRANA; A. PANTOJA y F. NAVARRO: "Manual de clases prácticas y prácticas de laboratorio. Nutrición animal I": 1994.

BRUHN, C. M.: *Aspectos de calidad y seguridad alimentaria de interés para el consumidor., Ed.* University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, 3ª edición ed, Oakland, California, USA, 2007.

BURNS, D. y E. CIURCZAK: *Handbook of near-infrared analysis, Ed.* Marcel Dekker, New York 1992.

CALDERÓN, G. y R. CEPEDA: *El cultivo de la papaya, Ed.* Publicación ICA, 500, Bogota. Colombia, 1990.

CARBALLO, M. y L. PRADO: *Bioestadística, Ed.* Pueblo y educación, Ciudad de La Habana, 1980.

CAYUELA, J. A.; C. WEILAND; C. NUNES y J. M. GARCÍA: "Predicción de calidad interna de cítricos por espectroscopia NIR", *Levante Agricola. Especial Poscosecha*: 2009.

CERDAS, M. M. y M. V. SÁENZ: *Diagnostico sobre manejo postcosecha de papaya (Carica papaya) en Paquera, Puntarenas [en línea]. Disponible en:* http://www.mag.go.cr/

CHANDLER, W. H.: *Frutales de hoja perenne, Ed.* Editora Revolucionaria, Primera edición ed, La Habana. Cuba, 1967.

CHRISTENSEN, L K. NPK Deficiencies Discrimination by use of Spectral and Spatial Response. Ph.D. Thesis. Department of Agricultural Sciences. AgroTechnology. The Royal Veterinary and Agricultural University. Denmark 2004.

CHO, M A; SKIDMORE, A K. A new technique for extracting the red edge position from hyperspectral data:The linear extrapolation method. Remote Sensing of Environment 101 (2006) 181 193.

COMTRADE, U.: *[en línea]. Disponible en:* http://comtrade.un.org/.

DELWICHE, S. R.; W. MEKWATANAKARN y C. Y. WANG: "Soluble solids and simple sugars measurement in intact mango using near infrared spectroscopy. ", *HortTechnology*, 18: 410-416, 2008.

EDWARD, A. E. y F. H. BALLÉN: *Una mirada a la producción, el comercio y el consumo de papaya a nivel mundial [en línea]. Florida. Disponible en:* http://edis.ifas.ufl.edu.

FAO: *Seguridad Alimentaria* 2007.

---: *Manual de manejo postcosecha de frutos tropicales* 2008.

---. *Anuario Estadístico de la FAO [en línea] Disponible en:* http://faostat.fao.org

FLORES, K. U.: *Determinación no destructiva de parámetros de calidad de frutas y hortalizas mediante espectroscopia de reflectancia en el infarrojo cercano*, 183pp., Universidad de Córdoba, Córdoba, 2009.

GARCÍA, N.: "Frutabomba cubana conquistó al mundo". *Juventud Rebelde*, La Habana.

GARCÍA, Y. y I. OSÍO: *Calidad físico-química y microbiológica de pulpa y frutas de lechosa (Carica papaya L.) de las variedades Cartagena colombiana y maradol*, Universidad nacional experimental sur del lago, Zulia. , 2003.

GONZALEZ, I. A.: *Caracterización química del color de diferentes variedades de guayaba (Psidium guajava L.) colombiana.*, 84pp., Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C, 2010.

GONZÁLEZ, V.: *Determinación no destructiva de parámetros de calidad en uvas, racimos y mostos mediante espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano.*, 194pp., Universidad de Córdoba, Córdoba, 2012.

HAN, D.; R. TU; C. LU; C. LIU y Z. WEN: "Nondestructive detection of brown core in the Chines pear 'Yali' by transmission visible-NIR spectroscopy. ", *Food Control*, 17: 604-608, 2006.

HARKER, F. R.; E. M. KUPFERMAN; A. B. MARIN; F. A. GUNSON y C. M. TRIGGS: "Eating quality standards for apples based on consumer preferences", *Postharvest Biol. Technol. 50*: 2008.

HUTTON, R.: Potential of NIR technique to measure internal quality of citrus fruit. En, pp., Queensland. Australia., 1998.

IMANISHI, J; SUGIMOTO, K; MORIMOTO, Y. Detecting drought status and LAI of two Quercus species canopies using derivative spectra. Computers and Electronics in Agriculture 43 (2004) 109 129.

INIVIT: *Intructivo técnico del cultivo de la fruta bomba (Carica papaya Lin)* 2004.

---: *Intructivo técnico del cultivo de la fruta bomba (Carica papaya Lin)* 2011.

KADER, A. A.: "Advances in CA/MA Applications. Perishables Handling Quarterly. 104, 8-9": 2000.

---: *Factores de seguridad y calidad: definición y evaluación para productos hortofrutícolas frescos, Ed.* In Tecnología Poscosecha de Productos Hortofrutícolas, Oakland, California, USA. , 2007.

KLEYNEN, O.; V. LEEMANS y M. F. DESTAIN: "Development of a multi-spectral vision system for the detection of defects on apples.", *J. Food Eng*, 69: 41-49, 2005.

LINE, T. H. B.: *Papaya: Introducing high-yield varieties key to healthy profits. [en línea]. Disponible en:* http://www.thehindubusinessline.com

LABB´E, N; LEE, S; CHO, H; JEONG, M K; ANDRE, N. Enhanced discrimination and calibration of biomass NIR spectral data using non-linear kernel methods. Bioresource Technology (2008) doi:10.1016/j.biortech.2008.02.052

ĹÑIGUEZ, G.: *Clasificación mediante técnicas no destructivas y evaluación de las propiedades mecánicas de la madera aserrada de coníferas de gran escuadría para uso estructural.*, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2007.

MALLEY, D. F.: "Near-infrared spectroscopy as a potential method for routine sediment analysis to improve rapidity and efficiency", *Elsevier Science Ltd*, Vol. 37, No.6-7: pp. 181-188, 1998.

MARTENS, H. y T. NAES: *Multivariate Calibration*, Chichester, UK., 1989.

MARTÍNEZ, C. M.: *Fundamentos del manejo y tratamiento poscosecha de productos agrícolas, Ed.* Editorial universitaria Félix Varela, 2012.

MCCLURE, W. F.: "years of near infrared technology: 1800-2003", J. Near Infrared Spectrosc. 11, 487-518.: 2003.

MCGLONE, V. A.; P. J. MARTINSEN; C. J. CLARK y R. B. JORDAN: "On-line detection of brown heart in Braeburn apples using near infrared transmission measurements. ", *Postharvest Biol. Technol.*, 37: 142-151., 2005.

MEDEROS, E.: *Fruticultura, Ed.* Editorial Pueblo y Educación, La Habana. Cuba, 1991.

MEHINAGIC, E.; G. ROYER; R. SYMONEAUX; D. BERTRAND y F. JOURJON: "Prediction of the sensory quality of apples by physical measurements", *Postharv. Biol. Technol.*, 34: 257-269., 2004.

MOONS, E.; A. DUBOIS; P. DARDENNE y M. LINDIC: *Non destructive visible and NIR Spectroscopy for the determination of internal quality in apple, Ed.* Northeast Regional Agricultural Engineering Service (NRAES). Ithaca, New York, 1997.

NAES, T.; T. ISAKSSON; T. FEARN y T. DAVIES: *Guide to Multivariate Calibration and Classification. NIR, Ed.* Chichester, UK, 2002.

NC-ISO 750. pp. 2001.

NC-ISO 1842. pp. 2001.

NC-ISO 2173. pp. 2001.

NICACIA, P.; J. C. MACHADO; S. P. FACHINELLO; D. L. GALARCA y M. S. BETEMPS: "Pear quality characteristics by Vis / NIR spectroscopy", *Anais da Academia Brasileira de Ciência*s: 2011.

NICOLAI, B. M.; K. BEULLENS; E. BOBELYN; A. PEIRS; W. SAEYS; K. I. THERON y J. LAMMERTYN: "Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. ", *Postharvest Biol. Technol.*, 46: 99-118., 2007.

PARRA, P.: "Panorama de la papaya o mamón", *Argentina. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca*: 2012.

PEGUERO, A.: *La espectroscopia NIR en la determinación de propiedades físicas y composición química de intermedios de producción y productos acabados.*, 272pp., Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona, 2010.

PEIRIS, K. H. S.; R. G. LEFFLER; G. G. DULL y S. J. KAYS: *Non destructive determination of soluble solids content of peach by Near Infrared Spectroscopy., Ed.* Northeast Regional Agricultural Engineering Service (NRAES), Ithaca, New York, 1998.

PEIRS, A.; A. SCHENK y B. M. NICOLAI: "Effect of natural variability among apples on the accuracy of VIS-NIR calibration models for optimal harvest date predictions.", *Postharvest Biol. Technol.*, 35: 1-13, 2005.

PÉREZ-MARÍN, A. B.; V. MESEGUER; J. F. ZAPATA; M. ORTUÑO; J. AGUILAR y M. LLORÉNS: "Removal of cadmium from aqueous solutions by adsorption onto orange waste", *Hazardous Materials*: 122-131, 2007.

PIÑEIRO, M. y L. DIAZ: *Mejoramiento de la calidad e inocuidad de las frutas y hortalizas frescas, Ed.* FAO, Roma, 2004.

SANTAMARÍA, F.; R. DÍAZ; E. SAURI; F. ESPADAS; J. M. SANTAMARÍA y A. LARQUÉ: "Características de calidad de frutos de papaya maradol en la madurez de consumo", *Agricultura técnica en México*, v.35 n.3: 2009.

SARANWONG, S. y S. KAWANO: "Applications to agricultural and marine products: Fruits and vegetables", *In Near-Infrared Spectroscopy in Food Science and Technology*: pp. 219-242., 2007.

SARANWONG, S.; J. SORNSRIVICHAI y S. KAWANO: "Prediction of ripe-stage eating quality of mango fruit from its harvest quality measured nondestructively by near-infrared spectroscopy", *Postharvest Biol. Technol.*, 31: 137-145., 2004.

SERÉGELY, Z.; T. DEÁKB y G. D. BISZTRAYB: "Distinguishing melon genotypes using NIR spectroscopy. ", *Chemometr. Intell. Lab*, 72: 195-203, 2004.

SHENK, J. y M. WESTERHAUS: "The application of near infrared reflectance Spectroscopy (NIRS) to forage analysis. ": 1995.

SILVA, P. y E. VALVERDE: "Validación de la metodología de cuantificación del magnesio por espectroscopia de absorción atómica de llama en la canasta básica de Costa Rica", *Rev Costarr Salud Pública*, 19 N.° 1: 36-41, 2010.

STEVENS, M. A.; A. A. KADER; M. ALBRIGHT-HOLTON y M. ALGAZI: "Genotypic variation for flavor and composition in fresh market tomatoes", *J. Amer. Soc. Hort.Sci*, 102: 680-689, 1977.

VALCÁRCEL, M.: *Optimización del proceso de evaluación y selección de germoplasma de tomate por características de calidad organoléptica: uso de la tecnología NIR y sensores electrónicos.* , Escuela Superior de Tecnología y Ciencias Experimentales, Castellón, 2009.

VALERO, C.: *Aplicación de la espectroscopia laser de reflectancia difusa (ERDT) a la medida de calidad interna de frutas y hortalizas.*, 247pp., Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Mdrid, 2002.

VALERO, C. y M. RUIZ: *Ensayos estándar para la medida de firmeza, azúcares, ácidos y color, junto con un ejemplo de valores obtenidos en distintas muestras de mercado de manzana, melocotón, kiwi, melón y tomate* (Técnicas de medida de la calidad de frutas), Madrid, 2004.

WILLIAMS, P. C. y D. C. SOBERING: "How we do it?: a brief summary of the methods we use in developing near infrared calibrations.", *Infrared Spectroscopy: The future waves.*: Pp: 185-188, 1996.

WOLD, S; SJOSTROM, M; ERIKSSON, L. PLS regression: a basic tool of chemometrics . Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems 58 (2001). 109 130

Anexos

Anexo 1. Principales países productores de fruta bomba (Carica Papaya L.) en los últimos años (toneladas). Fuente: (FAO, 2012)

Países / Años	***2010***	***2011***	***2012***
India	3913500	4196000	4180075
Brasil	1792594	1871961	1854343
Indonesia	772844	675801	958251
República Dominicana	681325	908461	891730
Nigeria	763619	750000	760000
México	707347	616215	634369
República Democrática del Congo	223777	225772	280330
Tailandia	206762	211594	212000
Guatemala	196615	203182	205483
Filipinas	176656	165981	157907
Colombia	185902	157620	153120
China	82878	129322	151183
Cuba	95700	135707	135000
Perú	173941	186806	125813
Venezuela	130000	133368	125631
Bangladesh	129559	112770	124764
El Salvador	71226	71000	69984
Costa Rica	64160	64800	60800
Ghana	43280	45000	48000
Malasia	45812	44950	44928

Anexo 2. Principales países exportadores de fruta bomba (Carica Papaya L.) en los últimos años (toneladas). Fuente: (FAO, 2012)

Países / Años	***2010***	***2011***	***2012***
México	101306	90316	134960
Brasil	32267	29968	27554
Belice	33341	28967	27152
Malasia	26938	24168	24301
India	10880	13834	17573
Estados Unidos	9604	9031	8090
Holanda	8625	7596	8023
Guatemala	6680	9794	7375
Ecuador	5486	4372	5370
Bélgica	527	593	2496
Otros	40103	25193	16790
Total	275757	243832	279684

Anexo 3. Principales países importadores de fruta bomba *(Carica Papaya L.)* en los últimos años (toneladas). Fuente: (FAO, 2012)

Países / Años	***2010***	***2011***	***2012***
Estados Unidos	138115	124330	156430
Singapur	19086	23181	21689
Cánada	14487	12950	13230
Holanda	12569	10845	8623
Reino Unido	8588	8335	8282
Alemania	8155	8516	8233
Hong Kong	9800	8306	5381
España	6686	6802	5386
Portugal	5992	5912	6209
El Salvador	5080	5751	7070
Otros	25613	29655	27943
Total	254171	244583	268476

Anexo 4. Componentes de la calidad de frutas según. Fuente: (Bruhn, 2007)

Calidad	Componentes
Apariencia (visual)	Brillo: naturaleza de la cera superficial
	Color: Uniformidad, intensidad
	Defectos: externos, internos
	Defectos entomológicos
	Defectos físicos y mecánicos
	Defectos fisiológicos
	Defectos morfológicos
	Defectos patológicos
	Figura y forma: Diámetro/profundidad, radio, compactación, uniformidad.
	Tamaño: dimensiones, peso, volumen
Sabor (gusto y olfato)	Acidez
	Astringencia
	Amargor
	Aroma (compuestos volátiles)
	Dulzor
	Olores y sabores extraños o desagradables
Seguridad	Contaminantes (residuos químicos, metales pesados)
	Contaminación microbiana
	Micotoxinas
	Tóxicos naturales
Textura (sensación)	Comestibilidad, arenosidad
	Correosidad y fibrosidad
	Firmeza, dureza, suavidad
	Suculencia, jugosidad
	Textura crujiente
Valor nutricional	Carbohidratos (incluyendo fibra dietética)
	Lípidos
	Minerales
	Proteínas
	Vitaminas

Anexo 5. Contenido mínimo en sólidos solubles totales (SST) y de acidez titular (AT) máxima propuestos para garantizar un sabor aceptable en frutas. Fuente: (Kader, 2007)

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	-