

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FCA
Facultad de
Ciencias Agropecuarias

Departamento de Ingeniería Agrícola

TRABAJO DE DIPLOMA

Correlación existente entre el contenido de sólidos solubles totales y grado de acidez con las longitudes de ondas obtenidas mediante la espectroscopia Vis/NIR en la poscosecha del cultivo de la frutabomba (*Carica papaya* L.)

Autor: Victor Manuel Yanes Nodal

Tutores: MSc. Dayana Marin Darias

DrC. Ahmed Chacón Iznaga

Santa Clara, Julio 2018
Copyright©UCLV

Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, y se encuentra depositado en los fondos de la Biblioteca Universitaria “Chiqui Gómez Lubian” subordinada a la Dirección de Información Científico Técnica de la mencionada casa de altos estudios.

Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:

Atribución- No Comercial- Compartir Igual



Para cualquier información contacte con:

Dirección de Información Científico Técnica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Carretera a Camajuaní. Km 5½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP. 54 830

Teléfonos.: +53 01 42281503-1419

Pensamiento



“La agricultura es la única fuente constante, cierta y eternamente pura de riquezas.”

José Martí.

Dedicatoria



A toda mi familia en especial.

Agradecimientos



A mi Mima por siempre estar presente en todos mis momentos de alegrías y tristezas.

A mis padres por siempre apoyarme a seguir hacia adelante para un mejor futuro como profesional en la vida.

A mi esposa e hija por estar ahí para hacerme reír.

A mi tío Jimmy por siempre ayudarme en los momentos que más lo necesite.

A mi hermano por siempre estar junto a mí y verme como su guía en la vida.

A mis amigos y a todos los que de una forma u otra me han apoyado.

A los técnicos de los laboratorios de microscopía, bromatología y suelo del CIAP sin su ayuda este trabajo no hubiese sido posible.

A todos mis profesores de la carrera q hicieron posible mi formación, en especial a Cristobal, Acevedo y Molly gracias por todo

Agradecimiento Especial:

*A nuestro Comandante **Fidel** que aunque no esté físicamente nos dio esta oportunidad de estudiar y superarnos para ser mejores en la vida.*

*A mis **tutores** a MSc. Dayana Marin Darias y el DrC. Ahmed Chacón Iznaga por apoyarme en este momento tan crucial de mi vida.*

Resumen



RESUMEN

La investigación se desarrolló con el fin de determinar el contenido de sólidos solubles totales y el grado de acidez en el cultivo de la frutabomba durante su etapa de poscosecha, mediante el uso de la técnica de espectroscopia Vis/NIR, para la obtención de resultados más precisos con menor gasto de recursos y tiempo. Los espectros de las muestras de frutabomba fueron obtenidos en condiciones de laboratorio, mediante la utilización de un espectrofotómetro Vis/NIR portátil en el modo de reflectancia, ajustándose un rango de longitud de onda entre 379 – 1671 nm. Los modelos matemáticos se desarrollaron en Matlab 7.9 mediante técnicas multivariadas de regresión de mínimos cuadrados parciales (PLS). Esta técnica facilitó la correlación entre los espectros de reflectancia con el contenido de sólidos solubles totales y el pH de las muestras, determinados por métodos convencionales. El método de pre-tratamiento espectral utilizado fue el de Corrección de Señal Multiplicativa (MSC), Primera Derivada de Savitzky – Golay, Suavizado y Centrado medio. Se utilizó la técnica de validación cruzada (Leave One Out), para optimizar la complejidad de los modelos. Los mejores resultados en la predicción de las variables analizadas se obtuvieron en las muestras recolectadas a los 6 días poscosecha.

Abstract



ABSTRACT

The research was developed in order to determine the content of total soluble solids and the degree of acidity in the cultivation of the pawpaw during its post-harvest stage, by using the Vis/NIR spectroscopy technique, to obtain more results precise with less expenditure of resources and time. The spectra of the pawpaw samples were obtained in laboratory conditions, by using a portable Vis/NIR spectrophotometer in the reflectance mode, adjusting a wavelength range between 379 - 1671 nm. Mathematical models were developed in Matlab 7.9 using multivariate partial least squares regression (PLS) techniques. This technique facilitated the correlation between the reflectance spectra with the content of total soluble solids and the pH of the samples, determined by conventional methods. The spectral pre-treatment method used was the Multiplicative Signal Correction (MSC), Savitzky First Derivative - Golay, Smoothing and Middle Centering. The technique of cross validation (Leave One Out) was used to optimize the complexity of the models. The best results in the prediction of the analyzed variables were obtained in the samples collected at 6 days post-harvest.

Índice



ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
1.1 Características generales de la frutabomba (<i>Carica papaya</i> L.).....	4
1.1.1 Condiciones edafoclimáticas para el cultivo de la frutabomba	4
1.1.2 Composición floral.....	5
1.1.3 Propagación	5
1.1.4 Fertilización	5
1.1.5 Enfermedades y su manejo	6
1.1.6 Cosecha y poscosecha.....	8
1.1.7 Principales propiedades nutritivas	9
1.1.8 Importancia comercial.....	9
1.1.9 Variedades más importantes	9
1.1.10 Principales países productores de frutabomba en la actualidad	10
1.2 Sólidos solubles totales	11
1.3 Determinación del pH.....	12
1.4 Técnicas y métodos para determinar la calidad en frutos.....	13
1.4.1 Técnicas destructivas	13
1.4.2 Técnicas no destructivas.....	14
1.5 Espectroscopia Vis/NIR	15
1.6 Análisis quimiométrico de datos espectroscópicos Vis/NIR.....	16
1.7 Análisis de las investigaciones realizadas sobre el tema objeto de estudio	19
CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
2.1 Metodología para el cálculo y selección de las muestras	21
2.2 Metodología para la caracterización del manejo agro técnico del cultivo y las condiciones edáficas y climáticas del área seleccionada	22
2.3 Metodología para la determinación de los sólidos solubles totales.....	24
2.4 Metodología para la determinación del pH	25
2.5 Metodología para la determinación de los espectros de reflectancia.....	25
2.6 Metodología para el procesamiento de los resultados	27
CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29

3.1 Determinación del manejo agro técnico del cultivo y las condiciones edáficas y climáticas del área seleccionada	29
3.2 Determinación de los sólidos solubles totales	32
3.3 Determinación del pH.....	34
3.4 Variabilidad de los espectros de reflectancia Vis/NIR de las muestras de frutabomba	36
3.5 Correlación entre los sólidos solubles (Brix) y el pH con la reflectancia espectral de las muestras de frutabomba	39
CONCLUSIONES.....	45
RECOMENDACIONES	46
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
ANEXOS	

Introducción



INTRODUCCIÓN

En los últimos años ha aumentado la diversificación agrícola hacia sectores como las frutas, debido a que constituyen una de las fuentes más importantes de vitaminas y minerales en la dieta humana. Las frutas son alimentos que deben incluirse en lo que consideramos una alimentación saludable. Los beneficios del consumo de fruta, radican en primer término en su valor nutricional, éstas son fuente de vitaminas, minerales, azúcares, sustancias antioxidantes y fibra.

La frutabomba (*Carica papaya* L.), es un frutal de gran importancia económica en los países tropicales y sub tropicales. La fruta posee gran valor nutritivo, se puede consumir como fruta fresca o procesada industrialmente y tiene amplio uso en la medicina. Como cultivo es importante señalar que a los agricultores les gusta sembrar esta fruta por las ventajas que tiene ya que se da en un corto periodo entre siembra y cosecha, su alto rendimiento, una producción continua y el bajo desarrollo de la planta le permite ser intercalada con otros árboles frutales.

Las condiciones climáticas de Cuba son favorables para el desarrollo de este cultivo, ya que el papaya encuentra condiciones óptimas para su desarrollo. Desde 1906 se cultiva en Cuba a escala comercial. En Cuba las principales variedades que se cultivan son: Maradol Roja, INIVIT fb - 2000 Enana, Maradol Amarilla, HG/MA, HG/MR, Nika III, VietNam # 1, Criolla; además se cultivan frutos de las variedades Solo y Sunrise Solo entre otros que se cultivan a menor escala (INIVIT, 2011). Dentro de las tres más cultivadas en el mundo se encuentra la variedad cubana Maradol Roja (García y Osío, 2003).

En cuanto, a la calidad de esta fruta, 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).

Para la determinación de la calidad en la frutas se utilizan técnicas destructivas y no destructivas. Las técnicas destructivas incluyen pruebas que deforman al material o producto parcial o totalmente. Los atributos internos de las frutas se determinan generalmente con métodos analíticos destructivos como los análisis químicos, la refractometría, la trituración, 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 (Herrero-Langreo *et al.*, 2011).

La medición de los atributos internos de las frutas se realiza habitualmente mediante métodos químicos, lo que conlleva una considerable cantidad de trabajo manual, tiempo, recursos y además se trata de métodos destructivos. Es por ello que se hace importante encontrar métodos más rápidos que los tradicionales para realizar este tipo de evaluaciones.

La determinación de los atributos internos de las 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).

Las 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 (Alves de Oliveira *et al.*, 2014).

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 o utilizado para otras medidas (Dong y Guo, 2015). Existen una amplia variedad de métodos no destructivos como la técnica de espectroscopia de reflectancia en el visible (Vis) e infrarrojo cercano (NIR), fluorescencia, rayos X, entre otros, que están siendo evaluados y utilizados por la industria para medir atributos de calidad de frutas (Nyasordzi *et al.*, 2013).

El análisis por espectroscopia Vis/NIR tiene muchas características que lo hacen atractivo: es rápido, fácil de usar y de naturaleza no destructiva. Su característica fundamental es que es capaz de reflejar en el espectro las transiciones vibracionales de las moléculas de los constituyentes químicos presentes en la muestra a estudio, tales como O-H, N-H y C-H (Wang *et al.*, 2015).

Esta técnica, es hoy en día, una de las alternativas más adecuadas para hacer frente a las exigencias de calidad en productos agrícolas, ya que combina rapidez y precisión en la medida, con una gran versatilidad, sencillez de presentación de la muestra, velocidad de recogida de datos (espectros), bajo costo y es una técnica limpia que contribuye a la

conservación del medio ambiente (Saavedra *et al.*, 2015). Además 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 métodos de laboratorio convencionales para la determinación del contenido de sólidos solubles totales y el grado de acidez en la poscosecha del cultivo de la frutabomba, que son difíciles, costosos, demandan tiempo y recursos, con la técnica de espectroscopia de reflectancia Vis/NIR?

Hipótesis

Permitirá el uso de la técnica de espectroscopia de reflectancia Vis/NIR determinar el contenido de sólidos solubles totales y el grado de acidez en la poscosecha del cultivo de la frutabomba.

Objeto de estudio

Frutabomba (*Carica papaya* L.)

Objetivo general

Correlacionar el contenido de sólidos solubles totales y grado de acidez con las longitudes de ondas obtenidas mediante el uso de la técnica de espectroscopia Vis/NIR, en la poscosecha del cultivo de la frutabomba, para la obtención de resultados más precisos con menor gasto de recursos y tiempo.

Objetivos específicos

1. Caracterizar el manejo agro técnico del cultivo y las condiciones edáficas y climáticas del área seleccionada.
2. Determinar en condiciones de laboratorio el contenido de sólidos solubles totales y el grado de acidez en el cultivo de la frutabomba en la poscosecha.
3. Obtener mediante la técnica de espectroscopia Vis/NIR la variabilidad de los espectros de reflectancia en diferentes longitudes de onda.
4. Correlacionar mediante modelos matemáticos el contenido de sólidos solubles totales y el grado de acidez en el cultivo de la frutabomba en la poscosecha, con las lecturas de reflectancia espectral Vis/NIR.

Capítulo I.
Revisión Bibliográfica



CAPÍTULO I. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 Características generales de la frutabomba (*Carica papaya* L.)

La frutabomba era desconocida en el viejo mundo, hasta que los españoles y portugueses llevaron las primeras semillas, desde los países tropicales de América. El nombre genérico de *Carica* deriva del latín otorgado al higo comestible (*Ficus Carica*) debido a las semejanzas de las hojas entre las dos plantas (Digilio, 1966) y se supone que es originaria de México. La frutabomba, también conocida como mamón, es una planta originaria de América Central y costa occidental de América del Sur se cultiva en todas las zonas tropicales y subtropicales del mundo entre los 32 grados de latitud norte y sur. Es una planta dicotiledónea perteneciente a la familia *Caricaceae*, formada por 4 géneros y 71 especies. Se conocen dos tipos principales de mamones cultivados: de tamaño pequeño (o papayas Hawaianas) y de gran tamaño (o papayas Mexicanas) (Molina, 2016). Entre las de tamaño pequeño, el tipo Solo es la más conocida, originada en Barbados y más tarde producida en Hawái, donde se convirtió en uno de los productos de exportación más importantes. Entre las de gran tamaño, la variedad Maradol es la más conocida, con origen en Cuba como resultado de un proceso de mejoramiento (Molina, 2016). Debido a su sabor especial, este cultivar fue rápidamente adoptado en muchas regiones (Evans *et al.*, 2012). Esta fruta recibe los nombres de papaya (el más común) en toda Europa, pawpaw en Asia, kapaya en Filipinas, dangandangan en Indonesia, betiken Singapur y Malasia, malakaw en Tailandia, olocoton en Nicaragua, México y Panamá, lechosa en Venezuela, mamón en Argentina y frutabomba en Cuba. En los países de habla portuguesa (Portugal, Brasil, Angola, Mozambique, Cabo Verde y Timor del Este) es conocido como mamão o mamoeiro (Molina, 2016).

1.1.1 Condiciones edafoclimáticas para el cultivo de la frutabomba

La frutabomba se cultiva bajo condiciones de lluvia o riego, en clima cálido con temperatura media entre 24 y 27°C, no tolera heladas, vientos fuertes y tampoco suelos mal drenados, estos deben ser suelos de pH entre 6,0 y 7,5 preferentemente con buen contenido de materia orgánica. Las precipitaciones en el orden de 1500-2000 mm anuales distribuidos de la forma más homogénea posible, de lo contrario se requieren restablecer los déficits de humedad mediante riego. La altitud sobre el nivel del mar oscila entre 0 y 400 metros (ACTAF, 2008).

1.1.2 Composición floral

La frutabomba posee tres formas florales: pistiladas, estaminadas y hermafroditas, con seis tipos de flores:

Tipo I: Femenina, flor pistiladas, que carece de estambres y produce frutos redondos.

Tipo II: Hermafrodita pentandria, flor de cinco estambres, pétalos libres y produce frutos deformes.

Tipo III: Hermafrodita intermedia, flor de seis a nueve estambres, pétalos soldados a 1/3 de su longitud y produce frutos de diversas formas.

Tipo IV: Hermafrodita elongata perfecta, flor de 10 estambres, pétalos soldados en más de 1/3 de su longitud, produce frutos uniformes.

Tipo V: Falsa hermafrodita, flor corto racimo, gruesa colora y pistilos no funcionales. Llamada hermafrodita estéril de verano. Produce frutos raras veces.

Tipo VI: Masculina, flor de corola gamopétala de poco grosor y pistilo rudimentario, no produce frutos.

1.1.3 Propagación

Comercialmente el método más empleado es por semillas botánicas, las cuales procederán de plantas hermafroditas del tipo elongata, que son las únicas que garantizan la obtención de una descendencia de plantas predominantemente del tipo hermafroditas hembras. Se recomienda el empleo de semilla certificada para garantizar la homogeneidad y la sanidad de la plantación (ACTAF, 2008).

1.1.4 Fertilización

La fertilización en el cultivo de la frutabomba se realiza como se muestra en las Tablas 1, 2 y 3 (ACTAF, 2008).

Tabla 1. Fertilización en el cultivo de la frutabomba

Relación de NPK	Época (días)	Cantidad a aplicar (g)	Observaciones
1:2:1	10-20	80	30 cm Planta
46:0:0	50	80	"
1.5:1:2	90	120	"
46:0:0	120	140	"
1:1:1.5	150	150	"

Fuente: ACTAF, 2008

Se repite alternando las aplicaciones nitrogenadas y formula completa hasta terminar el ciclo.

Bayfolan Forte: 3-5 ml/L de agua, mensualmente.

Boro: 0,5 a 1 g/ planta a partir de los 60 días y continuar las aplicaciones cada 25 días

Tabla 2. Fertilizantes biológicos en el cultivo de la frutabomba

Microorganismo	Producción comercial	Dosis	Momento de aplicación
Micorrizas	Microfert® agrícola	100 g/ planta	en trasplante
Azotobacter (bacterias)	Biostin	20 L/ha*	Semestral
Fosforina	Fosforina	20 L/ha*	En trasplante

* Solución final 400 L/ha

Fuente: ACTAF, 2008

**Solución final 200 L/ha

Tabla 3. Control con enemigos naturales (predadores y parásitos) en el cultivo de la frutabomba

Plaga	Predadores	Parásitos
Áfidos	Coccinélidos (cotorritas) Cyclonedasp. Colleomegilla CubensisCsy	<i>Lysiphlebus</i> <i>Testaceipes</i> (Cress.) (HymenopteraBraconidae)
Ácaros Primavera	Phytoseiulus Apantelesamericanus (Cress)	<i>Trichogrammaspp</i>
Davaracaricae		<i>Rogas</i> (Hymenoptera: <i>Braconidae</i>)

Fuente: ACTAF, 2008

1.1.5 Enfermedades y su manejo

Hay informadas alrededor de 20 enfermedades fungosas, 7 enfermedades causadas por prokariotes (entre las cuales se encuentran algunas causadas por rickettsias, un indeterminado número de enfermedades causadas por fitoplasmas, cuatro a cinco diferentes patologías causadas por bacterias de los géneros *Pectobacterium* que inciden tanto en campo como en la poscosecha) y alrededor de unas diez enfermedades causadas por virus (ACTAF, 2008).

Las enfermedades fungosas bacterianas y virales que se presentan en el campo y la poscosecha tienen un efecto importante sobre los rendimientos y la calidad comercial de la papaya y son las principales responsables de las pérdidas que ocurren durante la comercialización. En Cuba, la incidencia del virus de la mancha anular continúa siendo el principal factor que limita la vida productiva de la plantas. Junto a esta virosis, la antracnosis es actualmente uno de los principales factores de pérdidas de la calidad y las frutas. En las Tablas 4, 5, 6 y 7 se muestra un resumen de las principales enfermedades en el campo y poscosecha de la frutabomba e indicaciones generales del control.

Tabla 4. Principales enfermedades en el campo y poscosecha de la papaya e indicaciones general del control.

Enfermedad	Patógeno	Síntomas
Antracnosis	<i>Colletotrichumgloesporioides</i> <i>Colletotrichumcapsici</i> <i>Colletotrichumacutatum</i>	Lesiones hundidas redondeadas, de color café o negruzcas
Mancha chocolate	<i>C. gloesporioides</i>	Lesiones muy pequeñas, superficiales de coloración Café rojizo o bronceado
“Roya” Negra	<i>Asperisporiumpapayae</i>	Manchas pequeñas circulares y negras
Pudrición del fruto	<i>Phytophthorapalmivora</i>	Lesiones humedecidas café oscuras de 5-10 cm de longitud

Fuente: ACTAF, 2008

Tabla 5. Control de corto y largo plazo

Corto Plazo Mercado Local	Largo Plazo Exportación
Aspiraciones preventivas del tratamiento hidrotermico por inmersión más de 30 min Igual que <i>Colletotrichum</i>	No prolongar duración Igual que <i>Colletotrichum</i> . Evitar daños al Fruto (manejo adecuado)
Limpieza y saneamiento. Dicloran, captan, además de los mismos para <i>Colletotrichum</i> Igual que <i>Colletotrichum</i> . Eliminar los frutos con maduración regular.	La inmersión caliente incrementa la pudrición en poscosecha. Igual que <i>Colletotrichum</i>

Fuente: ACTAF, 2008

Tabla 6. Enfermedades asociadas a Rickettsias y fitoplasmas

Enfermedad	Etiología	Síntomas
Papaya bunchy top (Cogollo arrepollado de la Frutabomba)	Rickettsia	Moteado tenue y reducción de las hojas superiores. Entrenudos cortos y peciols endurecidos. Achaparramiento, arrosentamiento y rizadura del cogollo. Aborto de flores. Frutos deformes y con zonas de color verde pálido.
Papaya yellowcrinkle (arrugamiento amarillo de la papaya) Papaya dieback (Declinación de la papaya)	Rickettsia	Hojas enanas, necrosis del ápice. Arrugamiento y amarilla miento. Múltiples brotes laterales. Entrenudos cortos y apariencia arbustiva. Plantas con declinación.

Fuente: ACTAF, 2008

Tabla 7. Control de la transmisión

Transmisión	Control
Salta hojas	Medidas culturales
Salta hojas	Medidas culturales

Fuente: ACTAF, 2008

1.1.6 Cosecha y poscosecha

Los frutos pueden ser cosechados cuando aparecen cambios de coloración de verde brillante a verde oscuro, con listas o rayas amarillas, también totalmente maduros; los que pueden ser colectados de dos a tres veces por semana y durante las horas más frescas del día, evitando el sobrecalentamiento de los mismos y en función de los requerimientos del mercado, la cosecha se realizara con extremo cuidado, utilizando guantes engomados. También se cosechan en estado verde para la extracción industrial de papaína y para la confección de dulces y conservas industriales (ACTAF, 2008). Se envasarán en cajas de plástico y envueltos en papel para evitar daños mecánicos, teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- ✓ Beneficio
- ✓ Pesaje
- ✓ Lavado (agua + detergente y enjuagar en solución de Hipoclorito de sodio a 70-100 mg/L).
- ✓ Tratamiento químico: Básicamente se realizara para proteger la fruta de las enfermedades fungosas en una solución de tecto 60 a razón de 400 ppm o Fundazol 250 ppm o Bemomyl 0,8-1 g/l. En todos los casos los frutos se mantendrán de 2 a 3 minutos en la solución.
- ✓ Secado: Al aire libre o con vapor.
- ✓ Clasificación: Depende de los requerimientos del mercado, se clasifican según su grado de maduración, forma tamaño y peso.
- ✓ Envase: En cajas de cartón o plásticas.
- ✓ Transportación y manipulación: Esta labor debe hacerse con cuidado para evitar golpes o daños en los frutos

En la Figura 1 se muestra los frutos en condiciones óptimas para la cosecha. Estos frutos son los destinados posteriormente para el consumo como fruta fresca.



Figura 1. Cosecha de la frutabomba

1.1.7 Principales propiedades nutritivas

Una costumbre de los indígenas de la región centroamericana, era la de envolver las carnes duras de los animales de caza con las hojas de esta planta que contienen papaína y actúa haciéndolas más suaves que eso ocurre por la presencia del Latex. El látex es utilizado también en la clarificación de la cerveza y otras bebidas, para suavizar la lana, en el curtido de pieles y en la preparación de medicamentos como base de diferentes preparados digestivos. La corteza se aplica para reducir los callos. A la savia se atribuyen propiedades vomitivas y antihelmínticas. El mamón es una fruta sabrosa, estimada por sus cualidades refrescantes debido a su alto contenido en agua, cerca del 90%. Contiene entre 4 y 10% de azúcares, vitamina A y C, algo de G y pequeñas cantidades de B1. Se consume fresco en tajadas o rodajas (a veces agregando jugo de limón), o en forma de batido merengada o como ingrediente de ensaladas de frutas. El fruto verde se cocina como un vegetal y se preparan diversos dulces. En Estados Unidos, se emplea su pulpa en la preparación de helados y bebidas refrescantes, gasificadas o no. Se usan en la preparación de cosméticos y productos diversos de perfumería (Digilio, 1966).

1.1.8 Importancia comercial

La papaya se comercializa a nivel mundial por todas sus propiedades nutritivas y medicinales, se considera fuente de antioxidantes (carotenos, vitamina C y flavonoides), vitamina B (ácido fólico y ácido pantoténico), minerales (potasio, magnesio, entre otros) y fibra. Adicionalmente, es fuente de papaína (enzima digestiva) que es utilizada en las industrias: cervecera, carnes, farmacéutica, productos de belleza y cosmética (Mendoza y Lourena, 2010).

La papaya se produce en más de 60 países y su producción se concentra en naciones en vías de desarrollo. En los últimos años la producción de papaya se estima en 12.12 millones de toneladas.

1.1.9 Variedades más importantes

La frutabomba se reproduce por semillas y se han obtenido diferentes variedades como:

Maradol: Árbol de tamaño mediano, generalmente verde con tonalidades moradas en su tallo, fruto de pequeño a mediano con pulpa roja (Maradol roja) o amarilla (Maradol amarilla) de gran consistencia. En él predominan las flores hermafroditas tipo IV (Landin y Morales, 2000).

Maradol Roja: Variedad de origen cubano, de maduración temprana, de frutos consistentes con un peso promedio de 1,60 a 2,2 kg. De forma oblonga y pulpa roja. Muy productiva y de excelente sabor (ACTAF, 2008).

INIVIT fb-2000 Enana: Variedad obtenida en el INIVIT. Produce frutos de forma oblonga, con un promedio de 37 frutos/planta, de mesocarpio rojo con un Brix entre 10 y 13%. El peso promedio varía entre 0,5 y 2.0 kg/fruto. Posee alta vida anaquel. De bajo porte (0,65-0,95 m) (ACTAF, 2008).

HG/ MA: Cultivar cubano obtenida mediante hibridación (en el antiguo CEMSA hoy INIVIT), frutos grandes con un peso promedio de 3,7 kg. Pulpa de color roja, de forma oblonga con el extremo agudo (ACTAF, 2008).

Criolla u Oriental: Tallo grueso y porte alto, hojas y frutos grandes, pulpa de color amarillo claro, no muy dulce y de consistencia pobre. Posee mucha variación floral (Landin y Morales, 2000).

Mamey: Tallo fuerte de color morado, fruto de mediano a grande con pulpa color mamey.

Cariflora: Cultivar dioico, altamente tolerante al virus de la mancha anular PRV, obtenido por selección en Florida. Frutos de peso entre 0.50 y 0.70 kg., pulpa moderadamente firme, de color amarillo anaranjado y sabor y aroma agradable.

Otras: También existen de forma comercial otras variedades como la Nica, la Cera y la Hawaiana.

1.1.10 Principales países productores de frutabomba en la actualidad

En la Figura 2 se muestran los principales productores de frutabomba a nivel mundial, siendo la dominadora absoluta de esta fruta La India, y dentro de los principales productores en el puesto 8 se ubica Cuba.

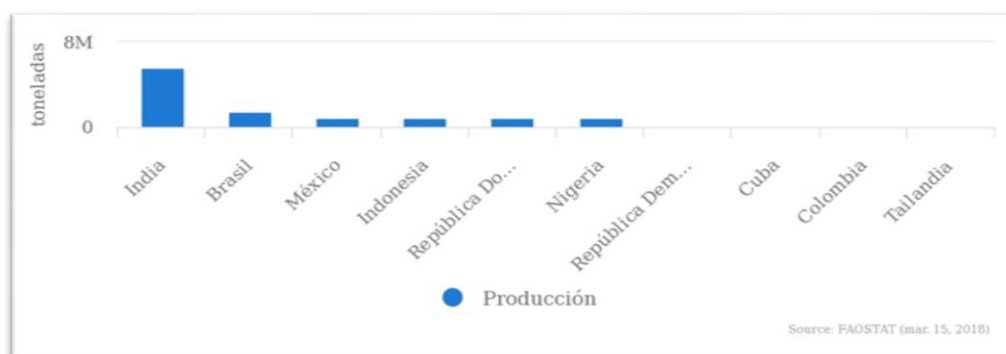


Figura 2. Principales productores de frutabomba a nivel mundial. Fuente:

<http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>

Los volúmenes de producción de frutabomba han ido aumentando en Cuba de forma gradual en los últimos años como se puede observar en la Figura 3. El área de frutabomba cosechada en Cuba en 2014 era 6652 ha y en 2016 ya era de 7606 ha por lo tanto los volúmenes de producción aumentaron de 139531 toneladas en 2014 a 212579 toneladas en 2016.

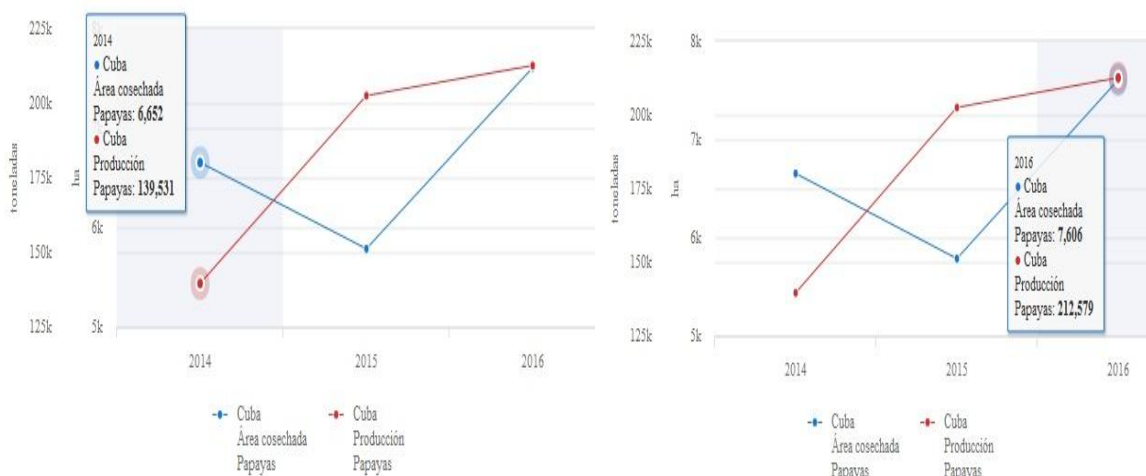


Figura 3. Comparación del área cosechada y producción de frutabomba. Fuente:

<http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>

1.2 Sólidos solubles totales

Los sólidos solubles se componen por azúcares, sales, ácidos y otros compuestos solubles en agua que forman parte del jugo, donde los más abundantes son los azúcares y los ácidos orgánicos presentes en el interior de la fruta ya que existe una diferente concentración con respecto a la parte externa, por eso para conseguir un valor representativo se procede a licuar y filtrar la muestra, de esta manera se obtiene el zumo que se medirá con el refractómetro (Minoshka, 2016).

El contenido en azúcares se puede medir directamente por procedimientos químicos, pero como éste es el componente mayoritario de los sólidos solubles (un 80% del total de los sólidos), resulta más fácil e igualmente útil determinar los sólidos solubles totales en el jugo extraído con la ayuda de un refractómetro o un hidrómetro. Los patrones o normas de madurez están frecuentemente basados en el contenido en sólidos solubles, aunque el índice refractométrico se utilice como índice de madurez, su utilidad real es como índice de calidad organoléptica.

Los azúcares van aumentando mientras el fruto está en el árbol. La medida del contenido de azúcares individuales requiere de técnicas cromatográficas, de entre los azúcares, la sacarosa, la glucosa y la fructosa son los más abundantes (La fuente-Rosales, 2014).

1.3 Determinación del pH

Desde una aproximación simplificada, el pH puede definirse como una medida que expresa el grado de acidez o basicidad de una solución en una escala que varía entre 0 y 14. La acidez aumenta cuando el pH disminuye. Una solución con un pH menor a 7 se dice que es ácida, mientras que si es mayor a 7 se clasifica como básica. Una solución con pH 7 será neutra.

El valor de pH representa el menos logaritmo en base diez de la concentración (actividad) de iones hidrógeno $[H^+]$. Como la escala es logarítmica, la caída en una unidad de pH es equivalente a un aumento de 10 veces en la concentración de H^+ .

Entonces, una muestra de agua con un pH de 5 tiene 10 veces más H^+ que una de pH 6 y 100 veces más que una de pH 7. En la Figura 4 se muestra la escala de pH donde el rojo simboliza pH ácidos mientras el azul significa pH básicos.

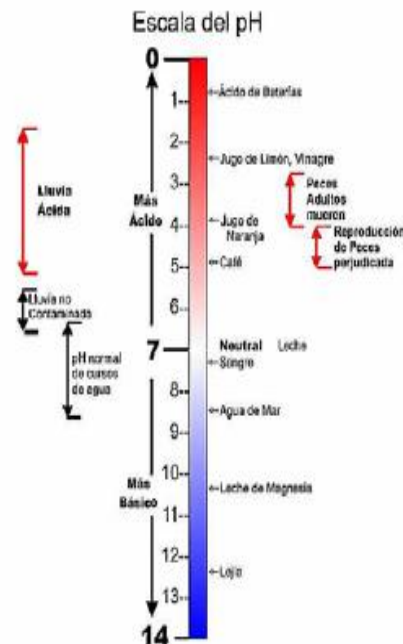


Figura 4. Escala de pH. Fuente: Goyenola, 2007

Los cambios en la acidez pueden ser causados por la actividad propia de los organismos, deposición atmosférica (lluvia ácida), características geológicas de la cuenca y descargas de aguas de desecho (Goyenola, 2007).

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 ésta 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 las frutas se utilizan técnicas destructivas y no destructivas.

1.4.1 Técnicas destructivas

Para ayudar a estimar el momento óptimo de madurez se tienen en cuenta los índices de madurez que se toman como indicadores de la fecha óptima de recolección del fruto, dependiendo de la especie y variedad debe contar con una serie de características y valores mínimos de alguno de los siguientes parámetros:

- ✓ **Físicas:** calibre, color, firmeza y forma
- ✓ **Químicas:** contenidos en azúcares, ácidos y vitaminas
- ✓ **Organolépticas:** sabor, olor y textura

El calibre: corresponde al contorno del fruto en su diámetro máximo. Es uno de los componentes más fácil de medir, aunque no es un carácter decisivo de la calidad organoléptica (La fuente-Rosales, 2014). No obstante, este parámetro tiene un impacto importante en la aceptación del consumidor.

El color: de la fruta puede evaluarse con cartas de color de una manera subjetiva. También puede medirse de forma más precisa, en campo, con instrumentos como el colorímetro (La fuente-Rosales, 2014).

La firmeza: se mide con la resistencia de la pulpa, una vez retirada la piel, a la penetración de un émbolo de diámetro conocido hasta una pequeña profundidad de la

pulpa del fruto, este método se denomina Magness-Taylor. Esta medida puede hacerse con un penetrómetro manual o de sobremesa, la medida se expresa en newton (N) o kilopondios (kp).

En la Figura 5 se muestra un refractómetro manual, un penetrómetro de frutas y un colorímetro, herramientas destructivas para análisis en frutas.

Refractómetro



Penetrómetro



Colorímetro

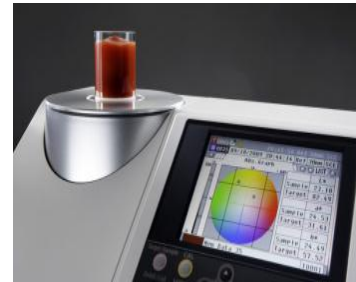


Figura 5. Técnicas destructivas. Fuente: La Fuente-Rosales, 2014

1.4.2 Técnicas no destructivas

En los últimos años, los laboratorios de desarrollo y algunas centrales hortofrutícolas han introducido en las líneas de manipulación nuevas tecnologías, técnicas avanzadas no destructivas que presentan múltiples ventajas: no destrucción del producto, detección en el lineal de selección, control de todas las unidades, confiabilidad de las determinaciones, automatización de los procedimientos. Entre las técnicas no destructivas se encuentran las técnicas de impulso acústico, que evalúan la firmeza mediante la resonancia acústica de compresión, es decir, consisten en medir la deformación que sufre el fruto cuando se le aplica una fuerza, y las ópticas entre las que se encuentran la espectroscopia Infrarrojo Cercano y Análisis de Imágenes Multi espectral (La fuente-Rosales, 2014).

Actualmente las técnicas más versátiles para la evaluación no destructiva de la calidad y clasificación de productos agrícolas son las ópticas, basadas en las propiedades ópticas de los productos. Se trata de métodos cuyo fundamento se basa en medir la interacción entre la materia y la energía en forma de luz. Basándonos en sus propiedades ópticas, un objeto puede ser translúcido, semi translúcido, turbio y opaco. Los productos agrícolas son turbios y transmiten a través de ellos la luz. Los fenómenos de reflectancia, absorción y transmitancia pueden ocurrir cuando la radiación electromagnética interacciona con un

tejido biológico turbio (Zhao *et al.*, 2017). La luz reflejada es un fenómeno complejo y se manifiesta de tres formas: reflectancia especular, reflectancia difusa externa y retro difusión de la luz como se puede apreciar en la Figura 6.

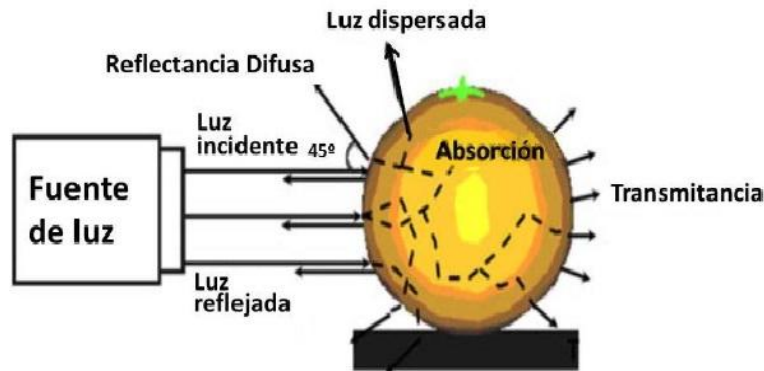


Figura 6. Principio de la espectroscopia. Técnica no destructiva. Fuente: Peiris *et al.*, 1998
La industria frutícola realiza numerosos esfuerzos para llevar a cabo determinaciones no destructivas de la calidad, que no dañen ni deprecien el producto, de forma que éste pueda ser posteriormente vendido o utilizado para otros fines (Peiris *et al.*, 1998). Efectivamente, existen una amplia variedad de métodos no destructivos (Espectroscopia Vis/NIRS, fluorescencia, rayos X, etc.), que están siendo evaluados y utilizados por la industria para medir atributos de calidad de frutas (Hutton, 1998; Marin, 2015).

1.5 Espectroscopia Vis/NIR

La espectroscopia vibracional fue una de las primeras técnicas espectroscópicas que encontró un uso extendido, en particular la espectroscopia de absorción infrarroja (IR) que recibe su nombre de la región del espectro electromagnético implicada. Hay una segunda forma de espectroscopia vibracional (Raman) que se sustenta en un fundamento físico diferente y proporciona información similar y complementaria al IR. La región IR del espectro electromagnético se encuentra entre 12800-10 cm^{-1} Tanto desde el punto de vista de las aplicaciones como de los aparatos se puede dividir en tres zonas: IR cercano (NIR): 12800-4000 cm^{-1} , IR medio: 4000-400 cm^{-1} ; IR lejano: 400-10 cm^{-1} , siendo en el IR medio donde se dan la mayoría de las aplicaciones analíticas tradicionales, aunque desde la década de los 80 la utilización del NIR ha experimentado un innegable auge. El NIR requiere una mínima o nula preparación de la muestra y ofrece un análisis cuantitativo sin consumir o destruir la muestra. Con frecuencia se combina con un

espectrofotómetro Visible-Ultravioleta y dispositivos de fibra óptica para análisis remoto, encontrando especial interés en control de procesos. Por su parte el IR lejano requiere el uso de fuentes y materiales ópticos especiales. Es utilizado para el análisis de compuestos orgánicos, inorgánicos u organometálicos que contengan átomos pesados (masa atómica superior a 19) y proporciona información útil en estudios estructurales. Por lo que respecta al IR medio, existen espectrofotómetros comerciales desde 1940, aunque los avances más significativos en la técnica se produjeron con el desarrollo de instrumentos que incorporan el método de transformada de Fourier (FT-IR), que ha mejorado la calidad de los espectros y minimizado el tiempo requerido para la obtención de datos (Martinez, 2004).

Hoy en día, casi todos los instrumentos utilizados en espectroscopia infrarroja están equipados con sistema de análisis que utilizan transformadas de Fourier de haz sencillo. Una de las grandes ventajas de la espectroscopia IR es su versatilidad, ya que permite estudiar prácticamente cualquier muestra con independencia del estado en que se encuentre: líquidos, disoluciones, pastas, polvos, fibras, films, gases o superficies (Martinez, 2004). 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 (Marin, 2015).

En esta técnica, la región del visible (400 nm – 700 nm) nos da información acerca de material colorante de la muestra. Los pigmentos son los responsables de la coloración debido a la presencia de bandas de absorción en el rango visible. En el infrarrojo, en cambio, se utiliza la región de longitudes de onda entre los 780 y los 2500 nanómetros del espectro electromagnético (Shenk *et al.*, 2001; La fuente-Rosales, 2014).

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 absorbencias a varias longitudes de onda (NAES *et al.*, 2002b).

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.*, 2002a).

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 sobre ajuste 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

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)

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 aplicado 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 vitivinícola 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.

El desarrollo ha impulsado que las técnicas hoy día sean más rápidas y menos costosas, que puedan aplicarse a la mayoría de los frutos procesados y que reflejen el estado interno y externo de calidad del fruto (La fuente-Rosales, 2014). Las llamadas técnicas ópticas, se basan en medir la interacción de la luz con la materia, en este caso la fruta y permiten determinar en una sola medida varios parámetros físico-químicos del fruto, como firmeza y contenido en sólidos solubles totales. Entre estas técnicas cabe destacar la espectroscopia de Infrarrojo Cercano y el Análisis de Imágenes Multi espectrales. Para poder relacionarlos datos obtenidos por estas técnicas con los índices de madurez del fruto (melocotón, manzana y cereza), es necesario construir modelos de calibración. Los métodos elegidos de regresión lineal (PLS) y no lineal (LS-SVM) proporcionan buenos resultados ya que permiten predecir el estado de madurez de la fruta a partir de la señal óptica obtenida de cada una de ellas o sencillamente de cada una.

Según (Jurado, 2012) el uso de la técnica Espectroscópica de Infrarrojo Cercano (NIR) es la más empleada para la medición de los parámetros de calidad, ya que es una técnica rápida, con una precisión y exactitud adecuada. Con ella se pueden registrar espectros tanto de muestras sólidas, líquidas o gaseosas. El producto es irradiado con radiación NIR y se mide la radiación reflejada o transmitida tras la absorción de radiación por parte de enlaces tipo $-CH$, $-NH$ y $-OH$. La radiación no absorbida pasa de largo. La transmitida permite conocer las características internas del fruto en su totalidad (desde la piel hasta el núcleo). Se han desarrollado equipos NIRS portátiles que permiten recoger espectros antes y durante la cosecha e incluso la tecnología NIRS permite trabajar en continuo en las líneas de producción y clasificación sobre el fruto entero, a diferencia de MID donde la necesidad de molienda del fruto hace imposible su uso en las líneas de clasificación.

Capítulo II.
Materiales y Métodos.



CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Metodología para el cálculo y selección de las muestras

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

t²- criterio de Student.

σ²- varianza

Δ²- error de la media

Al sustituir los valores en la fórmula, el cálculo de la muestra es 12, por lo tanto se analizaron 15 frutos por subgrupo o tratamiento, para tener una mejor precisión.

Se selecciona la variedad de frutabomba “Maradol roja”, de la que se tomaron 120 muestras de frutos recolectados en dos localidades diferentes a razón de un fruto por planta en 4 estados de maduración diferentes como se observa en la Figura 7, para ser posteriormente evaluados (analizados) en distintos días de poscosecha y de la siguiente forma:

Cosecha (recolecciones):

1ra – frutabomba verde (15 frutos) – (campo 1 - Cienfuegos)

frutabomba verde (15 frutos) – (campo 2 - Sancti Spíritus)

2da – frutabomba rayona (15 frutos) – (campo 1 - Cienfuegos)

frutabomba rayona (15 frutos) – (campo 2 Sancti Spíritus)

3ra – frutabomba pintona (15 frutos) – (campo 1 Cienfuegos)

frutabomba pintona (15 frutos) – (campo 2 Sancti Spíritus)

4ta – frutabomba madura (15 frutos) – (campo 1 Cienfuegos)

frutabomba madura (15 frutos) – (campo 2 Sancti Spíritus)



Figura 7. Estados de maduración en la cosecha

Poscosecha:

6 días de recolección

9 días de recolección

12 días de recolección

Las muestras fueron conservadas en condiciones refrigeradas a una temperatura entre 7 y 13°C, según el estado de madurez, y una humedad del 90 – 95%. No se emplearon aplicaciones de etileno para acelerar y uniformizar la maduración.

2.2 Metodología para la caracterización del manejo agro técnico del cultivo y las condiciones edáficas y climáticas del área seleccionada

Partiendo de la bibliografía consultada, se establecieron criterios esenciales para la caracterización del manejo agronómico y mediante el método de la entrevista, empleándose como instrumento un cuestionario (Anexo 1) se identifica el manejo del área. Se combinó la información de campo apoyada con los registros documentales de las unidades de producción.

Para la realización de los análisis químicos y físicos del suelo, se colectaron muestras del mismo en las dos localidades seleccionadas por el método de muestreo aleatorio estratificado.

Análisis químicos del suelo

- **pH (H₂O) y pH (KCl):** Método potenciométrico de Hesse, (1971), usando la relación de suelo: solución 1:2,5,
- **Materia Orgánica (MO):** Método colorimétrico de Walkey y Black, por oxidación con dicromato de potasio y ácido sulfúrico concentrado.

Análisis físicos del suelo

- **Coefficiente de la permeabilidad (Log 10k):** Aporta valiosa información para el estado físico del suelo es uno de los métodos más completo y puede servir para el diagnóstico del manejo ecológico del suelo, se realizó según el método de Heninet *et al.*, (1958) donde se calcula el Log₁₀ del coeficiente 10*K, para cada muestra con la utilización de un infiltrómetro siguiendo la fórmula:

$$\text{Permeabilidad} = \text{Log } 10 K \text{ y } K = (e \cdot V) / (H \cdot S),$$

Donde: K = coeficiente de percolación, e = altura de la columna de suelo, V = volumen en ml de agua percolada en una hora, H = altura de la columna líquida o lámina de agua, S = área de la sección transversal de la columna de suelo dentro del capilar

- **Factor de estructura (FE):** Este indicador caracteriza la cantidad de arcilla que actúa como cementante en la formación de suelo, para realizar los análisis químicos y físicos del suelo, se colectarán muestras del mismo en las dos localidades seleccionadas por formación de la estructura, el factor equivalente al 100%, entonces tiene buena estabilidad estructural, si interviene la mitad, 50%, la estabilidad es mala. Se determina a través de la determinación de la arcilla sin dispersar (b) y arcilla previamente dispersada, según el análisis mecánico (a), de acuerdo con Vageler y Alten, (1931) la fórmula es la siguiente:

$$FE = ((a - b) / a) \cdot 100$$

- **Agregados Estables (AE):** Por el método de Henin *et al.*, (1958), este método consiste en echar 5 g de suelo en un enemeyer, añadir 200 ml de agua destilada y dejar en reposo 30 minutos. Luego se somete la solución al golpeteo (40 golpes) durante 20 segundos y se tamiza en un tamiz de 0,2 mm. Lo que queda en el tamiz son los agregados estables

- **Límite Superior de Plasticidad (LSP):** Se determinó por el método del Cono de Balancín de Vasiliev, este método consiste en determinar la humedad de una pasta de suelo – agua cuando el cono de balancín penetra en ella un centímetro en 5 seg.
- **Límite Inferior de Plasticidad (LIP):** Se determinó por el método de los rollitos de Atterberg, este método consiste en determinar la humedad de un rollito de pasta suelo – agua de 3 mm cuando este se divide con roturas irregulares.

Ambos límites se expresan en % de Humedad en base a suelo seco (% hbss).

- **Índice de Plasticidad (IP):** Se determina por la diferencia numérica entre el límite superior e inferior, adimensional.

Para la determinación de las condiciones climáticas de las áreas seleccionadas se utilizan datos provenientes de las estaciones meteorológicas de las provincias objeto de estudio.

En la estación meteorológica ubicada en el lugar donde se realiza la investigación o en sus proximidades, se recogen los datos correspondientes a los valores máximos, medios y mínimos de los parámetros: temperatura ambiente, humedad relativa y precipitaciones durante el tiempo de estudio, se promedian y los resultados se registran en la Tabla 8.

Tabla 8. Tabla de recogida de datos de temperatura ambiente, humedad relativa y precipitaciones en la zona objeto de estudio.

Año	Días	Temperatura ambiente			Humedad relativa			Precipitaciones
		Máx.	Med.	Min	Máx.	Med.	Min	
2017	1							
	2							
	n							

Basándose en la información obtenida, se hacen conclusiones con respecto a la incidencia que puedan ejercer las condiciones climatológicas sobre el cultivo en estudio.

2.3 Metodología para la determinación de los sólidos solubles totales

La determinación de los sólidos solubles totales se realizó mediante la (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 (Figura 8), dirija el refractómetro hacia una fuente de luz y lea el porcentaje de sólidos solubles totales.

Las mediciones se deben realizar con una temperatura controlada de 20°C, sino los resultados se deben corregir en función de la temperatura.



Figura 8. Refractómetro manual

2.4 Metodología para la determinación del pH

La determinación del pH se realizó mediante la (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 (Figura 9) 15 minutos antes de comenzar a medir y calibrarlo.

Lave el electrodo del medidor de pH en agua destilada y colóquelo en el filtrado.



Figura 9. pH Metro digital.

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.

2.5 Metodología para la determinación de los espectros de reflectancia

Para el análisis de las muestras, se configuraron los espectros Vis/NIR de reflectancia. 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, como se observa en la Figura 10.

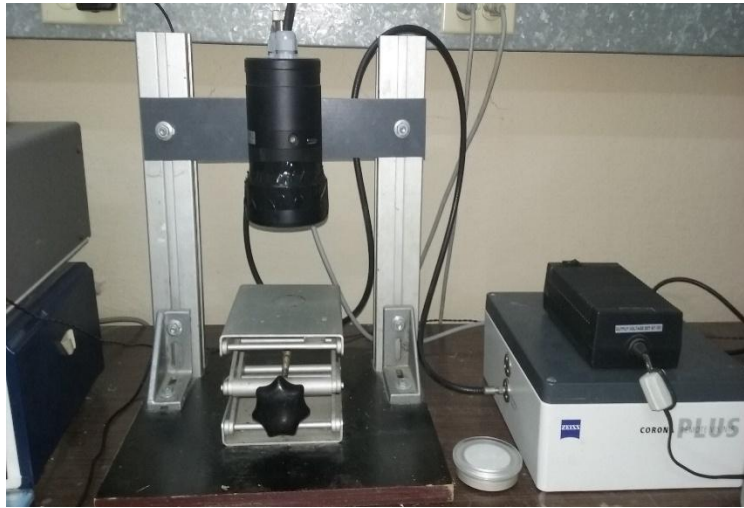


Figura 10. Espectrofotómetro de red de diodos

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 9.

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° .

Las fibras se encuentran agrupadas por una guía de luz que está conectada 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.

Tabla 9. Datos técnicos del OMK 500-H-NIR cabezal de la medición

OMK 500 cabezal de medición	Propiedades
Componentes	
Rango espectral	270...1702 nm
Tiempo de medición de la muestra	< 2 s
Rango de la medida	380-1702 nm
% de ruido	$\Delta R < 0.04 \% R$
Sensibilidad variante a la distancia	$X \pm 1 \text{ mm } dR < 0.2 \%$
Tiempo de la integración para la desviación de la balanza llena	< 100 ms
fuelle ligera estabilizada	lámpara de halógeno 5V, 10W,
Vida de la lámpara	aprox. 3 000 horas
Conector de fibra	2x Zeiss-conector
Vista geométrica	15 x 24 ° circular bajo 45°
Ángulo iluminado	0°
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

Fuente: Catalogo del equipo

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 379-1671 nm. Los tiempos de integración fueron: para el Vis (143,5 ms) y los NIR (200 ms). Se tomaron tres espectros de reflectancia sobre la zona central de la fruta, a una rotación de la muestra de aproximadamente 120°. Los tres espectros de cada muestra se promediaron para obtener un espectro promedio por muestra.

2.6 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 los variables pH y sólidos solubles, y sus respectivos estadígrafos descriptivos. Para analizar las correlaciones o dependencias

entre el pH y los sólidos solubles con los diferentes valores de reflectancia. Se analizó la correlación del pH y los sólidos solubles con el % de reflectancia para cada valor de clase, a partir de un análisis de regresión multidimensional. Para realizar estos procesamientos estadísticos se utilizó el software Matlab, 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 (LeaveOneOut), para optimizar la complejidad del mismo.

Capítulo III.
Resultados y Discusión.



CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Determinación del manejo agro técnico del cultivo y las condiciones edáficas y climáticas del área seleccionada

Las labores culturales del cultivo de la frutabomba en los dos campos estudiados no presentaron diferencias que puedan influir en los resultados de la investigación. Los dos productores entrevistados y encuestados coincidieron en el manejo agro técnico empleado en la selección de la semilla, preparación del suelo, siembra, fertilización, riego y manejo fitosanitario, utilizando los mismos productos (Ver Anexo 2).

El tipo de suelo para el cultivo de la frutabomba debe ser llano y lo más nivelado posible para evitar pérdidas por erosión. Debe tener un buen drenaje superficial e interno, no estar compactado, ser rico en materia orgánica y tener un pH neutro o ligeramente ácido entre 6 y 7 (Castro-Landín *et al.*, 2000).

Se analizaron muestras de suelo provenientes de dos campos agrícolas de frutabomba el (Campo 1) ubicado en el Poblado Morforte, municipio de Cumanayagua, provincia de Cienfuegos y el (Campo 2) perteneciente a la localidad de Mayajigua, municipio Yaguajay, provincia de Sancti Spíritus. Los resultados de las medias estadísticas de los análisis químicos y físicos del suelo en estos campos de frutabomba se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10. Medias estadísticas de los análisis químicos y físicos de los suelos evaluados

Análisis químicos y físicos		Campo 1 (Cienf)	Campo 2 (SS)
pH	H ₂ O	5,74	7,85
	KCL	4,88	7,07
P	mg/100g	0,33	2,07
MO	%	1,36	3,51
AE	%	30,25	58,8
FE	%	69,48	38,7
Permeabilidad	Log 10K	1,81	2,64
LSP	%hbss	35,56	57,28
LIP		25,67	38,7
	IP	9,89	18,58

Leyenda-

P- Fósforo; MO- Materia Orgánica; AE- Agregados estables; FE- Factor de Estructura; LSP- Límite Superior de Plasticidad; LIP- Límite Inferior de Plasticidad; IP- Índice de Plasticidad

Una de las principales variables de los suelos es el pH ya que controla muchos procesos químicos que en este tienen lugar. Afecta específicamente la disponibilidad de los nutrientes de las plantas, mediante el control de las formas químicas de los nutrientes. El rango de pH óptimo para la mayoría de las plantas oscila entre 5,5 y 7,0 sin embargo

muchas plantas se han adaptado para crecer a valores de pH fuera de este rango. Específicamente la frutabomba debe de tener un pH neutro o ligeramente ácido entre 6 y 7.

Según MINAGRI, (1984) el campo 1 presenta un suelo moderadamente ácido y el campo 2 un suelo ligeramente alcalino. La materia orgánica es baja en el campo 1 y media en el campo 2 según los resultados obtenidos.

La disponibilidad de los elementos minerales según el pH del suelo a partir de lo descrito por Roquero y Porta, (1986) se muestra en la Tabla 11 para las dos localidades evaluadas.

Tabla 11. Disponibilidad de los elementos minerales según el pH del suelo

Elemento Mineral	Campo 1 (Cienf)	Campo 2 (SS)
N	Regular	Óptima
P	Mala	Regular
K	Regular	Óptima
S	Regular	Óptima
Ca	Regular	Óptima
Mg	Regular	Óptima
Fe	Óptima	Regular
Mn	Óptima	Mala
Cu	Óptima	Regular
Zn	Óptima	Regular
B	Óptima	Regular
Mo	Óptima	Óptima

Leyenda-

N-Nitrógeno; P- Fósforo; K- Potasio; S- Azufre; Ca- Calcio; Mg- Magnesio; Fe- Hierro; Mn- Manganese; Cu- Cobre, Zn- Cinc; B- Boro; Mo- Molibdeno

El suelo en el campo 1 según (Cairo, 2006) es un suelo muy poco plástico y rico en metales. La permeabilidad de este suelo es adecuada y el factor de estructura que es el indicador que caracteriza la cantidad de arcilla que actúa como cementante en la formación de suelo es bueno pero a diferencia los agregados estables al agua son malos. Los niveles de fósforo y de materia orgánica en este campo son relativamente bajos según lo descrito por (MINAGRI, 1984; Olsen *et al.*, 1954) lo que no favorece el desarrollo óptimo de las plantas de frutabomba.

Sin embargo en el campo 2 el suelo es menos plástico y presenta una menor cantidad de metales que el suelo evaluado en el campo 1, además es rico en minerales los que favorecen el desarrollo de las plantas. La permeabilidad del suelo que es la propiedad que tiene el suelo de transmitir el agua y el aire es excelente y el factor de estructura es malo pero a diferencia los agregados estables al agua son adecuados.

Los suelos de los campos 1 y 2 son muy diferentes, presentan diferencias significativas en todas sus características, diferencias que influyen en el desarrollo de los cultivos.

Los factores climáticos más importantes que influyen de manera decisiva en el desarrollo de la frutabomba son la temperatura, la humedad, las precipitaciones y la luz solar. La temperatura es el factor climático limitante que permite que la frutabomba se desarrolle o no. El rango de temperatura es entre 22^o y 30^oC, pero su temperatura óptima es entre 23^o y 26^oC, temperaturas bajas inhiben su crecimiento y temperaturas altas, le provocan abscisión floral y bajas en la producción. Canículas y sequías especialmente en la floración ocasionan su caída y la planta llega a suspender su crecimiento.

El agua es el contribuyente principal de la planta, alrededor del 85% está compuesta por agua. La frutabomba tanto en el proceso de germinación, vivero y primeros meses después de plantada, necesita para su crecimiento y desarrollo una gran cantidad de agua, en la época seca o cuando la lluvia no es suficiente, se debe recurrir al riego para mantener las plantas con un buen desarrollo. La frutabomba también necesita abundante luz debido a su gran actividad fotosintética. Es imposible desarrollar plantaciones con restricciones de luz, pues las plantas serían alargadas y amarillas, sintomatología de desnutrición, lo que trae como consecuencia un inadecuado desarrollo de las plantas.

En las Figuras 11 y 12 se muestran los datos climatológicos del campo 1 y del campo 2 respectivamente.

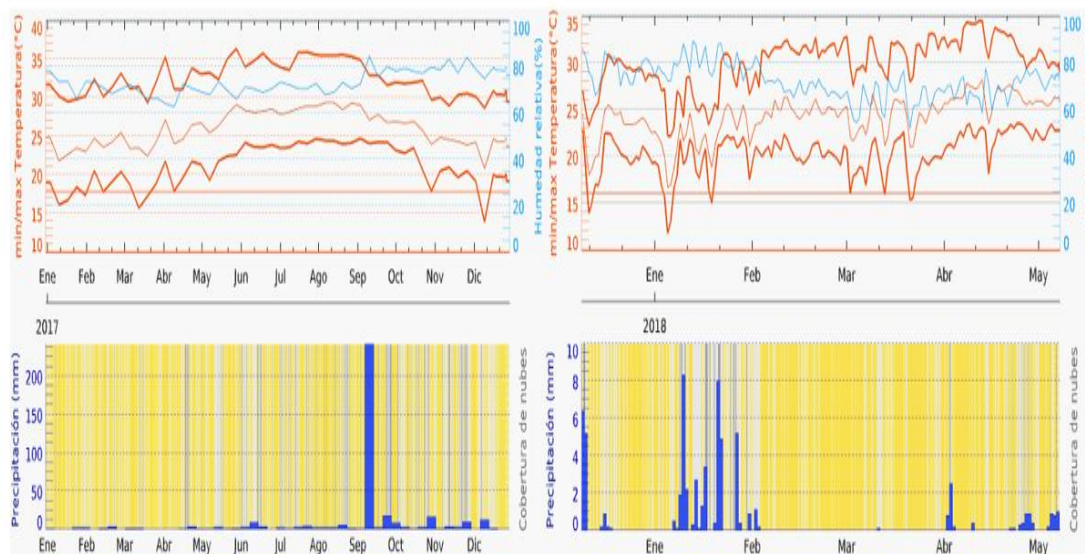


Figura 11. Datos climatológicos del campo 1 en el período 2017-2018. Fuente: Centro Meteorológico Provincial de Cienfuegos

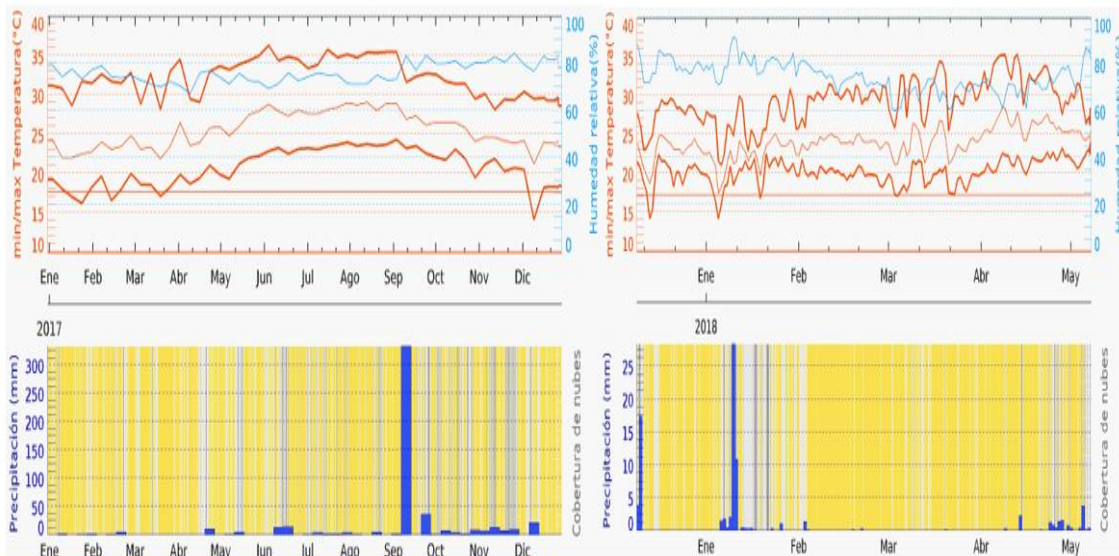


Figura 12. Datos climatológicos del campo 2 en el período 2017-2018. Fuente: Centro Meteorológico Provincial de Sancti Spíritus

Las temperaturas máximas en ambos lugares fueron altas durante el desarrollo de la planta, en los meses desde junio a septiembre de 2017, pero en los restantes meses del año la temperatura en ambos casos fue óptima para el desarrollo de la planta. La lluvia en el campo 1 fue más regular que en el campo 2, sobre todo en los meses en que se desarrollaba el fruto. La humedad relativa y la intensidad solar fue la adecuada en las dos localidades estudiadas.

3.2 Determinación de los sólidos solubles totales

A medida que incrementa el estado de madurez en los frutos se observa 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; Sañudo, 2008). El mayor aumento en azúcares ocurre cuando el fruto empieza a tornarse amarillo acelerándose la síntesis de estos compuestos hasta alcanzar la coloración naranja.

La cantidad de azúcares en el fruto depende principalmente de la variedad, del rendimiento asimilatorio de las hojas, de la relación hoja/fruto, de las condiciones

climáticas durante el desarrollo del fruto, del estado de desarrollo y de la madurez (Osterloh *et al.*, 1996).

El contenido de sólidos solubles totales mostró un aumento constante a medida que aumentaban los días poscosecha en todos los estados de cosecha del fruto, (Figura 13), siendo los valores más significativos los de las muestras cosechadas pintonas y maduras coincidiendo con lo reportado por (Lobo-Rodrigo, 1996; Belandria *et al.*, 2010; Santamaría Basulto *et al.*, 2009) esto se debe a la hidrólisis de los almidones mediante amilasas propias del fruto, proceso donde se libera una gran cantidad de moléculas de glucosa que hacen que aumente la cantidad de sólidos solubles.

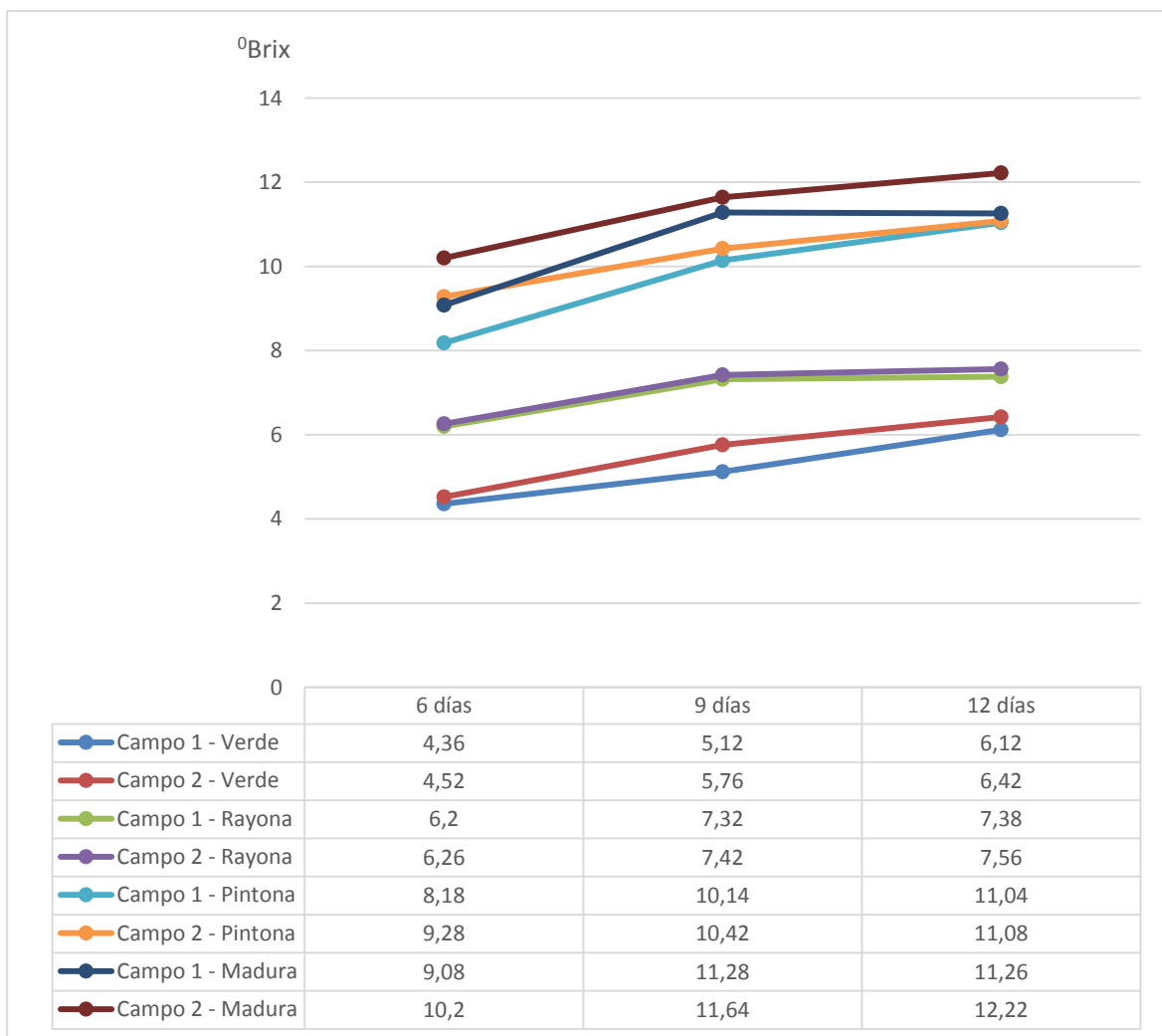


Figura 13. Medias estadísticas de los valores de sólidos solubles totales a temperatura de 20°C en muestras de frutabomba

Las muestras del campo 2 alcanzaron mayores $^{\circ}\text{Brix}$ que las muestras del campo 1, aunque estadísticamente no presentaron diferencias, el contenido de sólidos solubles totales fue mayor en todos los estados de cosecha (verde, rayona, pintona y madura) en los días poscosecha evaluados en el campo 2. Sólo se presentaron diferencias estadísticas entre las medias en los campos recolectado en estado maduro.

Respecto a las comparaciones del $^{\circ}\text{Brix}$ entre los días de recolección para cada estado de maduración se tuvo un comportamiento similar, donde las diferencias estadísticas se concentraron principalmente entre los 6 días de poscosecha y el resto, o sea, los promedios calculados para los 9 y 12 días de poscosecha no presentaron diferencias estadísticas entre sí, sin embargo, sus diferencias con el promedio a los 6 días de poscosecha si fueron significativas.

Según lo planteado por Kays (2004) cuando el fruto está madurando en la planta los azúcares incrementan su concentración por la translocación de sacarosa desde las hojas, esto ocurre en la mayoría de las especies; sin embargo, también existe el reciclaje del sustrato respiratorio desde el carbono almacenado en el fruto.

La acumulación de los azúcares se asocia con el desarrollo de la calidad óptima para el consumo; aunque los azúcares pueden ser transportados al fruto por la savia, también son aportados por el desdoblamiento de las reservas de almidón de los frutos (Wills *et al.*, 1998). Fischer y Martínez (1999) afirman que cuando el fruto presenta su contenido de azúcares más alto ha alcanzado su madurez fisiológica.

3.3 Determinación del pH

El pH se ve influenciado por el estado de madurez de los frutos como se puede observar en la Figura 14, 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; Menéndez *et al.*, 2006). Este ácido alifático tiende a convertirse en la sal correspondiente, dando como resultado el efecto amortiguador de la solución en la región de sus valores de pKa, disminuyendo la acidez.

Los menores valores de pH se encontraron en las muestras cosechadas verdes, estos valores no presentaron diferencias a medida que aumentaban los días poscosecha del fruto de los 6 días a los 9 días, y de los 9 días a los 12 días poscosecha no hubo ninguna variación en el valor del pH en estas muestras. Los mayores cambios se observaron en

las frutabombas que se cosecharon en estado de madurez rallonas, estas fueron aumentando significativamente a medida que aumentaban los días poscosecha llegando a alcanzar valores prácticamente iguales a las futas cosechadas pintonas y maduras en el día 12 poscosecha. Además todas las muestras a excepción de las cosechadas verdes el pH aumentó de forma significativa después de los 6 días poscosecha a los 9 días poscosecha, manteniéndose luego de igual manera desde los 9 días a los 12 días poscosecha, donde el aumento no fue significativo.

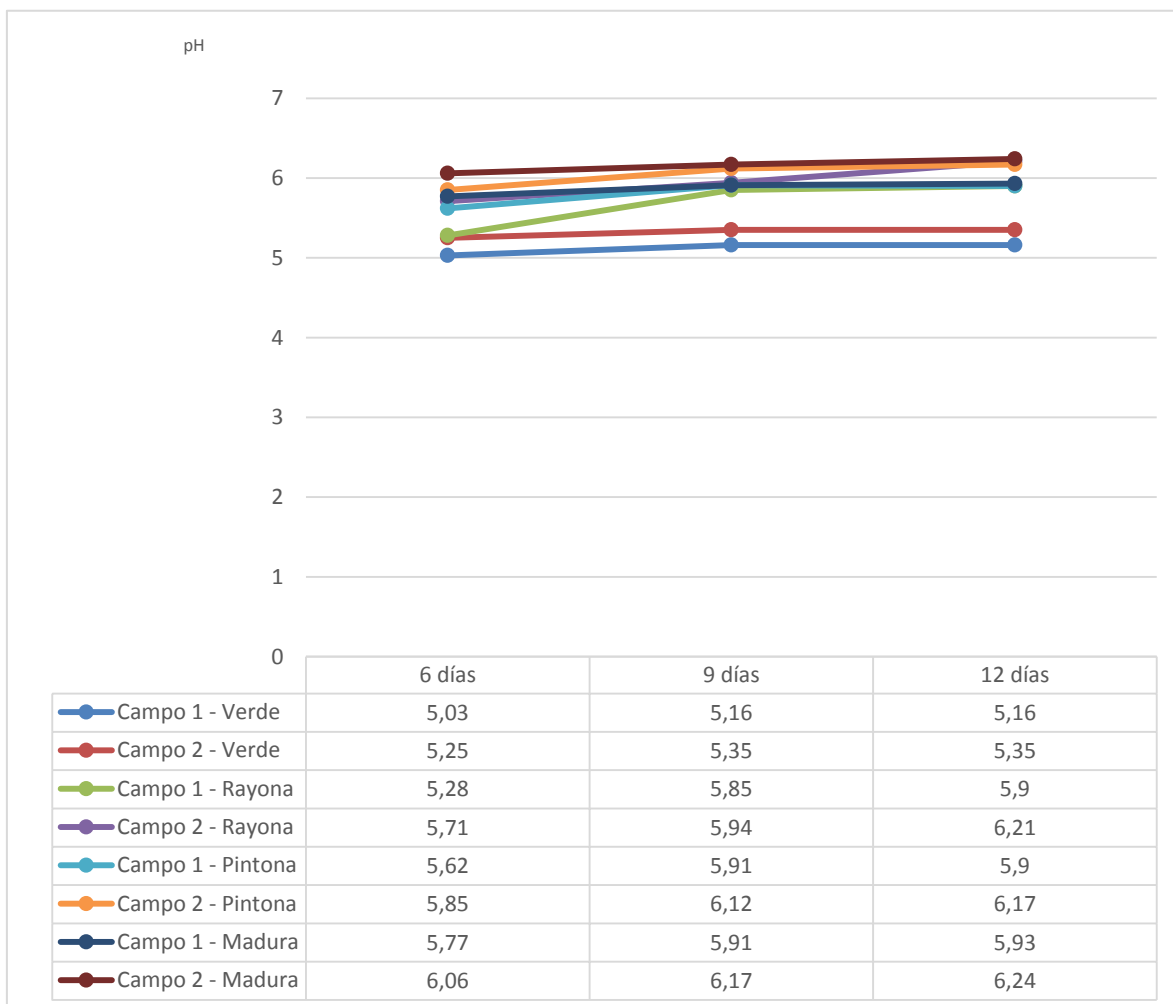


Figura 14. Medias estadísticas de los valores de pH en muestras de frutabomba

Todas las muestras del campo 2 presentaron valores de pH de los frutos significativamente mayores que las muestras del campo 1, comparándolas en función del estado de madurez en que fueron cosechadas, esto debe estar relacionado con los

valores de pH de los suelos, el campo 1 presentaba valores de pH más bajos que los observados en el campo 2, el pH del suelo influye en el pH de los frutos.

Los resultados coinciden con lo reportado por (García y Osío, 2003; Marin-Darias *et al.*, 2015) siendo inferiores a los reportados por (Lobo-Rodrigo, 1996; Júnior *et al.*, 2007; Alonso *et al.*, 2008)

3.4 Variabilidad de los espectros de reflectancia Vis/NIR de las muestras de frutabomba

En las Figuras 15, 16, 17 y 18 se muestra una representación gráfica de los espectros de reflectancia de las muestras de frutabomba en los distintos días de poscosecha, en función del rango de longitud de onda en la región Vis/NIR.

Figura 15. Curvas promedio del espectrofotómetro de muestras de frutabombas cosechadas verdes

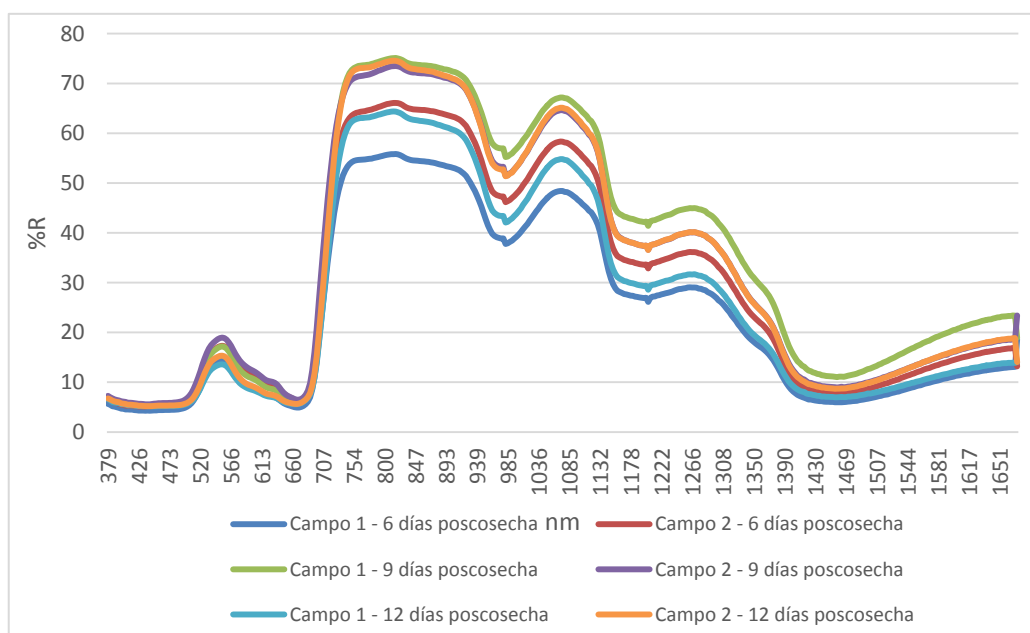


Figura 16. Curvas promedio del espectrofotómetro de muestras de frutabombas cosechadas rayonas

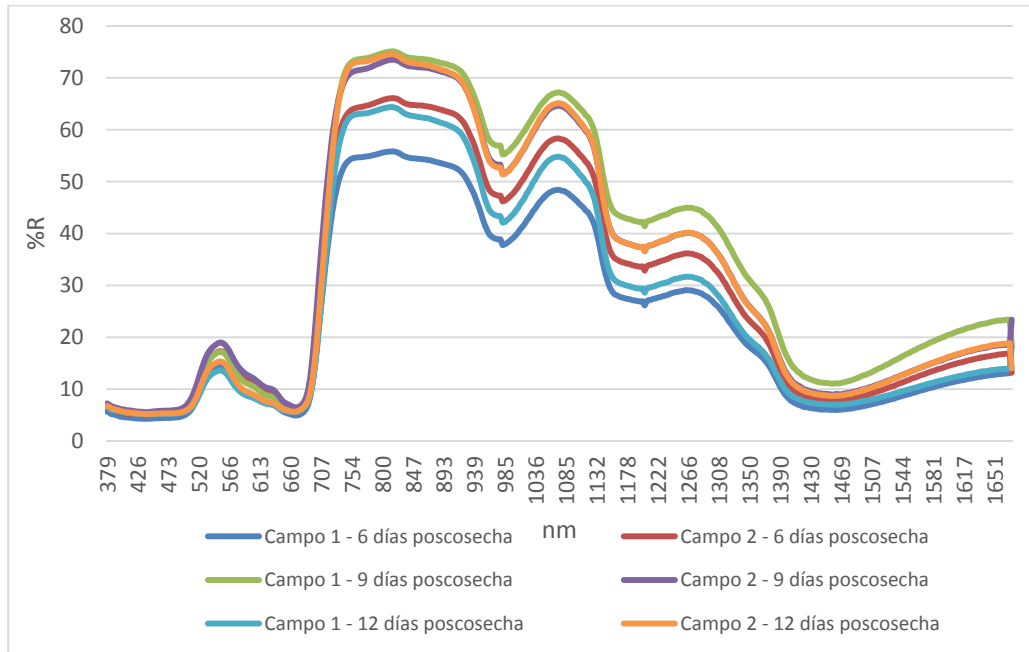


Figura 17. Curvas promedio del espectrofotómetro de muestras de frutabombas cosechadas pintonas

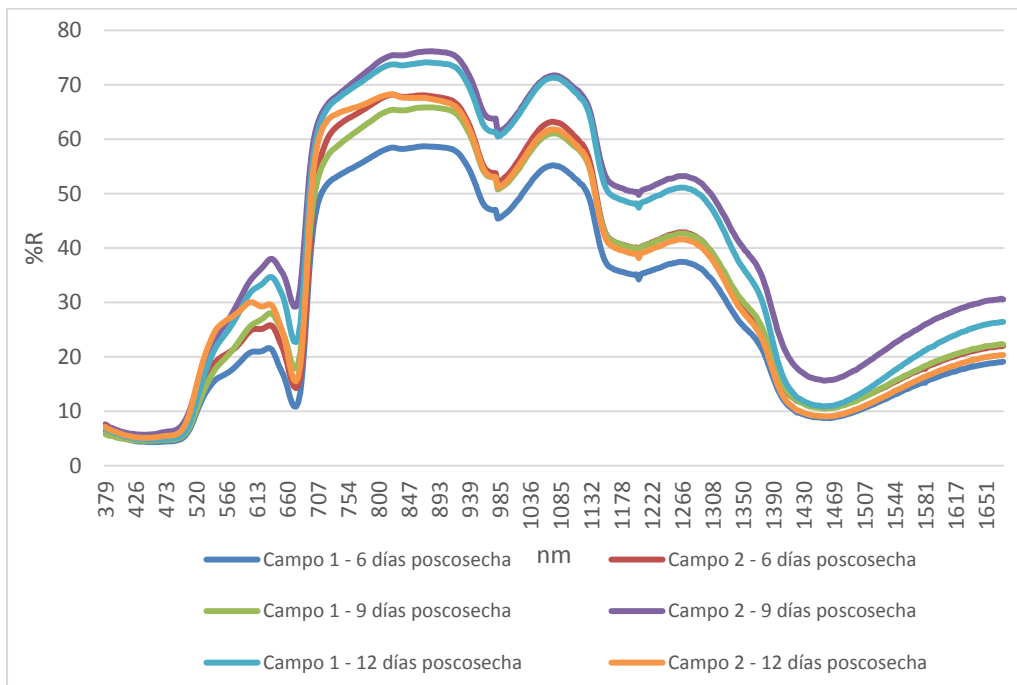
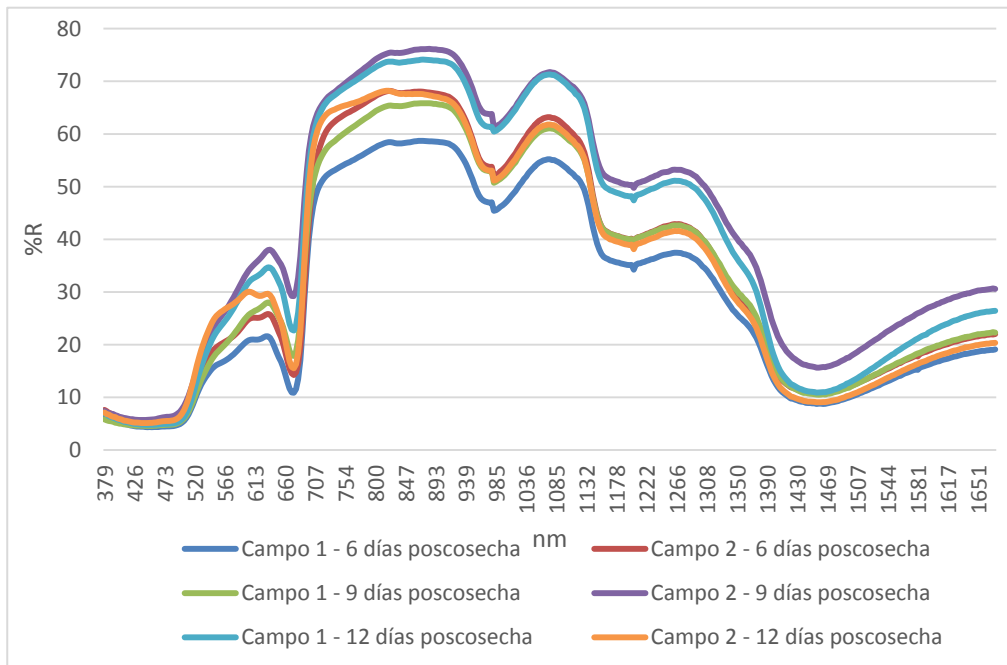


Figura 18. Curvas promedio del espectrofotómetro de muestras de frutabombas cosechadas maduras



Se observó que en la región visible (380 nm – 780 nm) la reflectancia tiende a ser menor entre los 379 – 520 nm, donde comenzó un leve aumento alcanzando un primer pico de crecimiento a los 566 nm aproximadamente en frutas cosechadas verdes y rayonas, en frutas cosechadas pintonas y maduras el valor más alto del primer pico de crecimiento se alcanza sobre los 613 nm, en las cuatro etapas de poscosecha este pico decrece hasta los 660 nm y luego la reflectancia tiende a ir incrementándose considerablemente hasta aproximadamente los 754 nm.

Por otra parte en la región NIR (780 nm – 1651 nm), se observó una mayor variabilidad de los espectros de las muestras de frutabombas evaluadas, dado que hubo un pico de decrecimiento alrededor de los 893 nm, para posteriormente incrementarse hacia los 1085 nm, detectándose un ligero pico de decrecimiento en los 985 nm en todas las muestras evaluadas, posteriormente decrece hacia los 1220 nm. A partir de esta última longitud de onda se observó un pico de crecimiento alrededor de los 1260 nm, luego decrecen gradualmente hacia los 1430 nm y finalmente se obtuvo un ligero incremento hacia la longitud de onda final evaluada (1651 nm).

Los picos de decrecimiento observados en el espectro se deben fundamentalmente a las moléculas de H₂O presentes en las longitudes de ondas de la región NIR del espectro según lo descrito por (Peguero, 2010). Los espectros están dominados por las bandas de absorción del agua, así como por enlaces –OH según lo reportado por Nicolai *et al.*, (2007). Los picos de reflectancia observados en la región NIR pueden deberse fundamentalmente a estos enlaces O-H, C-H y N-H.

3.5 Correlación entre los sólidos solubles (Brix) y el pH con la reflectancia espectral de las muestras de frutabomba

En las Tablas 12, 13, 14 y 15 se muestran los modelos PLS que permitieron comparar la precisión de la predicción Vis/NIR del contenido de sólidos solubles totales (Brix) en los diferentes días poscosecha para las muestras recolectadas en el campo 1 provenientes del municipio de Cumanayagua, provincia Cienfuegos. Se observó una predicción inferior al 70% solo en las muestras recolectadas rayonas y con valores por encima del 70% en las muestras recolectadas verdes, pintonas y maduras, observándose los mejores resultados en las muestras pintonas a los 6 días poscosecha, con un valor de 0,79. Se observa un pequeño decrecimiento en el índice de predicción en la medida que van aumentando los días de almacenamiento poscosecha. Además resultó ser mejor modelo en base al coeficiente RPD determinado el de las muestras recolectadas pintonas a los 6 días de almacenamiento poscosecha con un valor de 1,92.

Tabla 12. Correlación del Brix y la reflectancia espectral Vis/NIR en frutabomba verde (Campo 1) según diferentes días poscosecha.

Tto	R ² C ^a	R ² CV ^b	RMSEC ^c	RMSECV _d	RPD ^e	RER ^f	C Bias ^g	CV Bias _h
T1	0.73	0.71	0.13	0.08	1.64	8.80	0.73	0.71
T2	0.71	0.77	0.12	0.08	1.62	8.73	0.71	0.77
T3	0.69	0.76	0.12	0.07	1.55	8.34	0.69	0.76

Leyenda:

^a R²C - coeficiente de determinación de la calibración;

^b R²CV - 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 6 días poscosecha; T2- subgrupo con 9 días poscosecha;

T3- subgrupo con 12 días poscosecha.

Tabla 13. Correlación del Brix y la reflectancia espectral Vis/NIR en frutabomba rayona (Campo 1) según diferentes días poscosecha.

Tto	R ² C ^a	R ² CV ^b	RMSEC ^c	RMSECV _d	RPD ^e	RER ^f	C Bias ^g	CV Bias _h
T1	0.68	0.56	0.12	0.07	1.54	8.24	0.68	0.56
T2	0.66	0.62	0.11	0.07	1.52	8.08	0.66	0.62
T3	0.64	0.61	0.11	0.06	1.46	7.71	0.64	0.61

Tabla 14. Correlación del Brix y la reflectancia espectral Vis/NIR en frutabomba pintona (Campo 1) según diferentes días poscosecha.

Tto	R ² C ^a	R ² CV ^b	RMSEC ^c	RMSECV _d	RPD ^e	RER ^f	C Bias ^g	CV Bias _h
T1	0.79	0.76	0.11	0.10	1.92	9.99	0.79	0.76
T2	0.77	0.74	0.11	0.08	1.90	9.95	0.77	0.74
T3	0.74	0.73	0.10	0.07	1.85	9.87	0.74	0.73

Tabla 15. Correlación del Brix y la reflectancia espectral Vis/NIR en frutabomba madura (Campo 1) según diferentes días poscosecha.

Tto	R ² C ^a	R ² CV ^b	RMSEC ^c	RMSECV _d	RPD ^e	RER ^f	C Bias ^g	CV Bias _h
T1	0.76	0.73	0.14	0.10	1.88	9.69	0.76	0.73
T2	0.74	0.71	0.14	0.08	1.86	9.65	0.74	0.71
T3	0.71	0.70	0.13	0.07	1.81	9.57	0.71	0.70

En las Tablas 16, 17, 18 y 19 se muestran los modelos PLS que permitieron comparar la precisión de la predicción Vis/NIR del contenido de sólidos solubles totales (Brix) en los diferentes días poscosecha para las muestras recolectadas en el campo 2 provenientes del municipio de Yaguajay, provincia Sancti Spíritus. Se observó una predicción por encima del 70% en todas las muestras recolectadas exceptuando el caso de las muestras recolectadas pintonas a los 12 días de almacenamiento poscosecha con un índice de predicción de 0,68, estos resultados son buenos. El mejor modelo en base al coeficiente RPD determinado es el de las muestras recolectadas verdes a los 6 días de almacenamiento poscosecha con un valor de 1,89.

Tabla 16. Correlación del Brix y la reflectancia espectral Vis/NIR en frutabomba verde (Campo 2) según diferentes días poscosecha.

Tto	R ² C ^a	R ² CV ^b	RMSEC ^c	RMSECV _d	RPD ^e	RER ^f	C Bias ^g	CV Bias _h
T1	0.77	0.65	0.10	0.08	1.89	9.10	0.77	0.65
T2	0.75	0.71	0.09	0.08	1.87	8.94	0.75	0.71
T3	0.73	0.70	0.09	0.07	1.81	8.58	0.73	0.70

Tabla 17. Correlación del Brix y la reflectancia espectral Vis/NIR en frutabomba rayona (Campo 2) según diferentes días poscosecha.

Tto	R ² C ^a	R ² CV ^b	RMSEC ^c	RMSECV _d	RPD ^e	RER ^f	C Bias ^g	CV Bias _h
T1	0.74	0.63	0.13	0.08	1.85	8.82	0.74	0.63
T2	0.72	0.68	0.12	0.08	1.83	8.67	0.72	0.68
T3	0.70	0.67	0.12	0.07	1.77	8.33	0.70	0.67

Tabla 18. Correlación del Brix y la reflectancia espectral Vis/NIR en frutabomba pintona (Campo 2) según diferentes días poscosecha.

Tto	R ² C ^a	R ² CV ^b	RMSEC ^c	RMSECV _d	RPD ^e	RER ^f	C Bias ^g	CV Bias _h
T1	0.72	0.61	0.12	0.07	1.79	8.55	0.72	0.61
T2	0.70	0.66	0.11	0.07	1.77	8.40	0.70	0.66
T3	0.68	0.65	0.11	0.06	1.72	8.07	0.68	0.65

Tabla 19. Correlación del Brix y la reflectancia espectral Vis/NIR en frutabomba madura (Campo 2) según diferentes días poscosecha.

Tto	R ² C ^a	R ² CV ^b	RMSEC ^c	RMSECV _d	RPD ^e	RER ^f	C Bias ^g	CV Bias _h
T1	0.79	0.67	0.13	0.07	1.66	8.56	0.79	0.67
T2	0.77	0.73	0.12	0.07	1.64	8.40	0.77	0.73
T3	0.75	0.72	0.12	0.06	1.58	8.03	0.75	0.72

En las Tablas 20, 21, 22 y 23 se muestran los modelos PLS que permitieron comparar la precisión de la predicción Vis/NIR del pH en los diferentes días poscosecha para las muestras recolectadas en el campo 1 provenientes del municipio de Cumanayagua, provincia Cienfuegos. Se observó una predicción por encima del 60% en todas las muestras recolectadas.

Tabla 20. Correlación del pH y la reflectancia espectral Vis/NIR en frutabomba verde (Campo 1) según diferentes días poscosecha.

Tto	R ² C ^a	R ² CV ^b	RMSEC ^c	RMSECV _d	RPD ^e	RER ^f	C Bias ^g	CV Bias _h
T1	0.70	0.68	0.15	0.11	1.93	9.31	0.03	0.01
T2	0.66	0.65	0.15	0.10	1.91	9.36	0.02	0.00
T3	0.63	0.63	0.13	0.08	1.90	10.28	0.01	0.00

Tabla 21. Correlación del pH y la reflectancia espectral Vis/NIR en frutabomba rayona (Campo 1) según diferentes días poscosecha.

Tto	R ² C ^a	R ² CV ^b	RMSEC ^c	RMSECV _d	RPD ^e	RER ^f	C Bias ^g	CV Bias _h
T1	0.78	0.75	0.16	0.11	1.81	9.41	0.03	0.02
T2	0.75	0.72	0.16	0.10	1.79	9.46	0.02	0.01
T3	0.72	0.69	0.14	0.08	1.77	10.48	0.01	0.01

Tabla 22. Correlación del pH y la reflectancia espectral Vis/NIR en frutabomba pintona (Campo 1) según diferentes días poscosecha.

Tto	R ² C ^a	R ² CV ^b	RMSEC ^c	RMSECV _d	RPD ^e	RER ^f	C Bias ^g	CV Bias _h
T1	0.72	0.69	0.16	0.12	1.80	9.68	0.03	0.02
T2	0.69	0.66	0.16	0.11	1.78	9.83	0.02	0.01
T3	0.66	0.63	0.14	0.09	1.75	10.89	0.01	0.01

Tabla 23. Correlación del pH y la reflectancia espectral Vis/NIR en frutabomba madura (Campo 1) según diferentes días poscosecha.

Tto	R ² C ^a	R ² CV ^b	RMSEC ^c	RMSECV _d	RPD ^e	RER ^f	C Bias ^g	CV Bias ^h
T1	0.67	0.64	0.15	0.11	1.69	9.08	-0.06	-0.06
T2	0.64	0.61	0.15	0.10	1.67	9.13	-0.07	-0.07
T3	0.61	0.58	0.13	0.08	1.65	10.14	-0.08	-0.07

Los resultados se consideran buenos en función a la predicción. En cuanto al mejor modelo en base al coeficiente RPD determinado es el de las muestras recolectadas verdes con valores de 1,93; 1,91 y 1,90 respectivamente en función de los días de almacenamiento poscosecha.

En las Tablas 24, 25, 26 y 27 se muestran los modelos PLS que permitieron comparar la precisión de la predicción Vis/NIR del pH en los diferentes días poscosecha para las muestras recolectadas en el campo 2 provenientes del municipio Yaguajay, provincia Sancti Spiritus.

Tabla 24. Correlación del pH y la reflectancia espectral Vis/NIR en frutabomba verde (Campo 2) según diferentes días poscosecha.

Tto	R ² C ^a	R ² CV ^b	RMSEC ^c	RMSECV _d	RPD ^e	RER ^f	C Bias ^g	CV Bias _h
T1	0.74	0.71	0.13	0.09	1.82	9.39	0.74	0.71
T2	0.72	0.69	0.13	0.07	1.80	9.35	0.72	0.69
T3	0.69	0.68	0.12	0.06	1.76	9.28	0.69	0.68

Tabla 25. Correlación del pH y la reflectancia espectral Vis/NIR en frutabomba rayona (Campo 2) según diferentes días poscosecha.

Tto	R ² C ^a	R ² CV ^b	RMSEC ^c	RMSECV _d	RPD ^e	RER ^f	C Bias ^g	CV Bias _h
T1	0.81	0.78	0.14	0.09	1.69	9.49	0.81	0.78
T2	0.79	0.76	0.14	0.07	1.67	9.45	0.79	0.76
T3	0.76	0.75	0.13	0.06	1.62	9.37	0.76	0.75

Tabla 26. Correlación del pH y la reflectancia espectral Vis/NIR en frutabomba pintona (Campo 2) según diferentes días poscosecha.

Tto	R ² C ^a	R ² CV ^b	RMSEC ^c	RMSECV _d	RPD ^e	RER ^f	C Bias ^g	CV Bias _h
T1	0.75	0.83	0.14	0.10	1.67	9.76	0.75	0.83
T2	0.73	0.81	0.14	0.08	1.65	9.82	0.73	0.81
T3	0.70	0.79	0.13	0.07	1.59	9.73	0.70	0.79

Tabla 27. Correlación del pH y la reflectancia espectral Vis/NIR en frutabomba madura (Campo 2) según diferentes días poscosecha.

Tto	R ² C ^a	R ² CV ^b	RMSEC ^c	RMSECV _d	RPD ^e	RER ^f	C Bias ^g	CV Bias _h
T1	0.71	0.67	0.13	0.09	1.57	9.16	0.71	0.67
T2	0.68	0.65	0.13	0.07	1.55	9.12	0.68	0.65
T3	0.65	0.64	0.12	0.06	1.50	9.04	0.65	0.64

Los mejores resultados se observan en las muestras recolectadas rayonas observándose valores por encima del 80 % del índice de predicción. Las muestras analizadas a los 6 días poscosecha, presentaron valores de coeficiente de determinación de la calibración y valores de proporción de la desviación del resultado más altos que los valores observados a los 9 y 12 días poscosecha en cada uno de los estados de maduración cosechados.

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 que 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. El manejo agro técnico del cultivo y las condiciones climáticas en las áreas seleccionadas se comportó de igual manera, no así las características de los suelos de las áreas seleccionadas donde hubo diferencias significativas en todos los parámetros físicos y químicos analizados.
2. El contenido de sólidos solubles totales y el pH aumento durante los días de almacenamiento poscosecha, observándose los mayores cambios entre los 6 y los 9 días de poscosecha para los cuatro estados de cosecha de la frutabomba, y todas las muestras analizadas del campo 2 presentaron valores más altos que los observados en el campo 1.
3. En cada uno de los estados de recolección de la fruta evaluados se identificaron las regiones espectrales más influyentes, observándose la5s mayores valores de reflectancia para todas las muestras hacia los 850 nm.
4. Las correlaciones entre el contenido de sólidos solubles totales y el pH con la variabilidad de la reflectancia espectral por medio del método de regresión PLS, mostró muy buenos resultados, observándose los mejores a los 6 días poscosecha en cada uno de los estados de maduración recolectados.

Recomendaciones



RECOMENDACIONES

- 1- Ampliar el rango de análisis de esta investigación para la determinación cuantitativa y no destructiva Vis/NIR en otras variedades de frutabomba.
- 2- Utilizar la técnica de espectroscopia Vis/NIR para determinar los restantes parámetros químicos en muestras de frutabomba.
- 3- Evaluar el uso de la técnica de espectroscopia Vis/NIR para determinar los virus y plagas en muestras de frutabomba.

Referencias
Bibliográficas



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACTAF: "Instructivo Técnico del cultivo de la fruta bomba", en, pp. 38, 2008.
- ALVES DE OLIVEIRA, G.; S. BUREAU; C. RENARD; P.-N. M.-G. C.; D. C. A. B., F. *Comparison of NIRS approach for prediction of internal quality traits in three fruit species. Food chemistry, Ed.*, 2014.
- ARRIETA, A.; U. BAQUERO; J. BARRERA: "Caracterización fisicoquímica del proceso de maduración del plátano "Papocho" (Musa ABB Simmonds)", *Agronomía Colombiana*: 2006.
- BELANDRIA, D.; V. VELANDRIA; C. NAVARRO: "Caracterización física, química y organoléptica de los frutos de lechosa (*Carica papaya* L.) en las variedades Tailandia y Maradol", *Producción Agropecuaria*, 3(1): 45-49, 2010.
- BOADA, A.; M. LAURES; J. L. AZUM; M. T. PASTRANA; A. PANTOJA; 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, Oakland, California, USA, 2007.
- BURNS, D.; E. CIURCZAK. *Handbook of near-infrared analysis*, Ed. Marcel Dekker, New York 1992.
- CARBALLO, M. y L. PRADO: *Bioestadística*, Ed. Pueblo y educación, Ciudad de La Habana, 1980.
- CASTRO-LANDÍN, L.; L. A. MORALES; M. ARANGUREN-GONZÁLEZ. *Fundamentos teórico-prácticos sobre el cultivo y cosecha de la papaya (Carica papaya (L.))*, Ed., Facultad de agronomía. Matanzas, 2000.
- CAYUELA, J. A.; C. WEILAND; C. NUNES; J. M. GARCÍA: "Predicción de calidad interna de cítricos por espectroscopía NIR", *Levante Agrícola*, 396: 190-194, 2009.
- DELWICHE, S. R.; W. MEKWATANAKARN; C. Y. WANG: "Soluble solids and simple sugars measurement in intact mango using near infrared spectroscopy. ", *HortTechnology*, 18: 410-416, 2008.
- DIGILIO, A.: *Los arboles indigenas de la provincia de Tucuman*, Ed., 283, 1966.
- DONG, J. L.; W. C. GUO. *Nondestructive Determination of Apple Internal Qualities Using Near-Infrared Hyperspectral Reflectance Imaging. Food Analytical Methods*, , Ed., 2015.

- FLORES , K. U.: *Determinación no destructiva de parámetros de calidad de frutas y hortalizas mediante espectroscopia de reflectancia en el infarrojo cercano*, 183pp., Tesis Universidad de Córdoba, Córdoba., 2009.
- GARCÍA, Y.; I. OSÍO: *Calidad físico-química y microbiológica de pulpa y frutas de lechosa (Carica papaya L.) de las variedades Cartagena colombiana y maradol*, Tesis Universidad nacional experimental sur del lago, Zulia, 2003.
- GONZÁLEZ, V.: *Determinación no destructiva de parámetros de calidad en uvas, racimos y mostos mediante espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano*, Tesis Departamento de Bromatología y Tecnología de los Alimentos, Universidad de Córdoba, Córdoba, 2012.
- GOYENOLA, G.: "Determinación del pH ": 2007
- HAN, D.; R. TU; C. LU; C. LIU; Z. WEN: "Nondestructive detection of brown core in the Chinese 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; C. M. TRIGGS: "Eating quality standards for apples based on consumer preferences", *Postharvest Biol. Technol.* 50: 2008.
- HERRERO-LANGREO, A.; E. FERNÁNDEZ-AHUMADA; J. M. ROGER; B. PALAGÓS; L. LLEÓ. *Combination of optical and non-destructive mechanical techniques for the measurement of maturity in peach. Journal of FoodEngineering., Ed., 157, 2011.*
- HUTTON, R.: "Potential of NIR technique to measure internal quality of citrus fruit". En, pp., Queensland. Australia., 1998.
- INIVIT. *Instructivo técnico del cultivo de la fruta bomba (Carica papaya Lin)*, Ed., 2011.
- JURADO, L.: *ESTUDIO DEL GRADO DE MADUREZ Y/O CONSERVACIÓN DE TOMATES EMPLEANDO TÉCNICAS ESPECTROSCÓPICAS MOLECULARES.*, Tesis Departamento Química Física y Analítica, Universidad de Oviedo., 2012.
- KLEYNEN, O.; V. LEEMANS; M. F. DESTAIN: "Development of a multi-spectral vision system for the detection of defects on apples.", *J. Food Eng*, 69: 41-49, 2005.
- 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
- LA FUENTE-ROSALES, V.: *Aplicación de las técnicas de Espectroscopia Vis/NIR y de imágenes de retrodifusión de luz láser a la evaluación del estado de madurez de melocotón, manzana y cereza*, Tesis Veterinaria, Universidad de Zaragoza, 2014.

- LANDIN, L.; L. MORALES. *Fundamentos teorcos practicos sobre el cultivo y cosecha de la Papaya Carica Papaya, Ed., 4, 2000.*
- LOBO-RODRIGO, M. G.: *Caracterización bioquímica de frutos de papaya (Carica papaya, cv Sunrise), hembra y hermafrodita, en relación con su aptitud al procesado por congelación*, Tesis Universidad Complutense de Madrid, 1996.
- MARIN-DARIAS, D.; Y. GRAU-BENAVIDES; A. CHACÓN-IZNAGA: "Propiedades y susceptibilidad de la fruta bomba (Carica papaya L.) en la poscosecha", *Centro Agrícola*, 42(1): 23-29, 2015.
- MARIN, D.: *Determinación de parámetros químicos que definen la calidad de la fruta bomba (carica papaya l.) mediante espectroscopia vis/nir* 88pp., Tesis Ing.Agrícola, Universidad central Mata Abreu de las Villas, 2015.
- MARTENS, H.; T. NAES. *Multivariate Calibration, Ed., Chichester, UK., 1989.*
- MARTINEZ, J.: *Espectroscopia Infrarroja*, Tesis, 2004.
- MCGLONE, V. A.; P. J. MARTINSEN; C. J. CLARK; R. B. JORDAN: "On-line detection of brown heart in Braeburn apples using near infrared transmission measurements. ", *Postharvest Biol. Technol.*, 37: 142-151., 2005.
- MEHINAGIC, E.; G. ROYER; R. SYMONEAUX; D. BERTRAND; F. JOURJON: "Prediction of the sensory quality of apples by physical measurements", *Postharv. Biol. Technol.*, 34: 257-269., 2004.
- MENDOZA, T.; J. LOURENA: "Una mirada a la producción , el comercio y el consumo de papaya a nivel mundial": 2010.
- MINOSHKA, I.: *Análisis físico químico para la determinación de la calidad de las frutas*, 69pp., Tesis Ciencias exactas y naturales, CATÓLICA DEL ECUADOR, 2016.
- MOLINA, N.: "ESTACION EXPERIMENTAL AGROPECUARIA BELLA VISTA LA PRODUCCIÓN DE FRUTAS TROPICALES: PANORAMA MUNDIAL Y EN ARGENTINA", No 42: 2016.
- NAES, T.; T. ISAKSSON; T. FEARN; T. DAVIES. *Guide to Multivariate Calibration and Classification. NIR, Ed. Chichester, UK, 2002a.*
- NAES, T.; T. ISAKSSON.; T. FEARN.; T. DAVIES.: "Guide to Multivariate Calibration and Classification. NIR, Ed. Chichester, " 2002b.
- NC-ISO 1842. pp. 2001.
- NC-ISO 2173. pp. 2001.

- NICOLAI, B. M.; K. BEULLENS; E. BOBELYN; A. PEIRS; W. SAEYS; K. I. THERON; J. LAMMERTYN: "Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. ", *Postharvest Biol. Technol.*, 46: 99-118., 2007.
- NYASORDZI, J.; H. FRIEDMAN; Z. SCHMILOVITCH; T. IGNAT; A. WEKSLER; I. Y. L. ROT, S. . *Utilizing the IAD index to determine internal quality attributes of apples at harvest and after storage. Postharvest Biology and Technology, Ed.*, 2013.
- PEGUERO, A.: *La espectroscopia NIR en la determinación de propiedades físicas y composición química de intermedios de producción y productos acabados*, 272pp., Tesis Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona, 2010.
- PEIRIS, K. H. S.; R. G. LEFFLER; G. G. DULL; 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; 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; M. LLORÉNS: "Removal of cadmium from aqueous solutions by adsorption onto orange waste", *Hazardous Materials*: 122-131, 2007.
- SAAVEDRA, W.; V. VÁSQUEZ; C. ROJAS. *Técnicas analíticas en metabolómica de alimentos.*, Ed., 2015.
- SANTAMARÍA BASULTO, F.; R. DÍAZ PLAZA; E. SAURI DUCH; F. ESPADAS Y GIL; J. M. SANTAMARÍA FERNÁNDEZ; A. LARQUÉ SAAVEDRA: "Características de calidad de frutos de papaya Maradol en la madurez de consumo", *Agricultura técnica en México*, 35(3): 347-353, 2009.
- SARANWONG, S.; 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; 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; G. D. BISZTRAYB: "Distinguishing melon genotypes using NIR spectroscopy. ", *Chemometr. Intell. Lab*, 72: 195-203, 2004.
- SHENK, J.; M. WESTERHAUS: "The application of near infrared reflectance Spectroscopy (NIRS) to forage analysis. ": 1995.






- STEVENS, M. A.; A. A. KADER; M. ALBRIGHT-HOLTON; 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.* , Tesis Departamento de Ciencias Agrarias y del Medio Natural Escuela Superior de Tecnología y Ciencias Experimentales, Castellón, 2009.
- WANG, H.; J. PENG; C. XIE; Y. BAO, Y HE, Y. *Fruit quality evaluation using spectroscopy technology: a review. Sensors, Ed.*, 2015.
- WILLIAMS, P. C.; 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
- ZHAO, Y.; Y. GU; F. QIN; X. LI; Z. MA; L. ZHAO; J. LI; P. CHENG; Y. PAN; H. WANG: "Application of Near-Infrared Spectroscopy to Quantitatively Determine Relative Content of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* DNA in Wheat Leaves in Incubation Period", *Journal of Spectroscopy*, 2017: 2017.

Anexos



ANEXOS

Anexo 1. Encuesta a productores

- 1- Variedad de la fruta bomba
- 2- Selección de la semilla
- 3- Fecha de siembra
- 4- Manejo agro técnico completo
 -  Preparación del suelo
 -  Fertilización
 -  Riego
 -  Manejo fitosanitario
 -  Labores culturales generales

Anexo 2. Resultados de las encuestas realizadas a los productores

Productor (Campo 1) provincia Cienfuegos

- 1- Variedad de la fruta bomba ----- Maradol Roja
- 2- Selección de la semilla ----- Corto de cada lado del fruto cuatro dedos y tomo las semillas del medio porque son las de mayor poder de germinación según mi criterio.
- 3- Fecha de siembra ----- Principios de agosto de 2017.
- 4- Manejo agro técnico completo
 - 🌱 Preparación del suelo ----- Realizo las labores con ayuda de maquinaria agrícola y una yunta de bueyes, realizo las distintas atenciones culturales al suelo (aradura, cruce, recuce, surcado y nivelado) además aplico materia orgánica.
 - 🌱 Fertilización ----- Aplico fertilizantes para la ayuda y crecimiento de la planta, aplico la formula completa (NPK)
 - 🌱 Riego ----- Se riega el campo periódicamente y en dependencia de las condiciones climáticas.
 - 🌱 Manejo fitosanitario ----- En el manejo fitosanitario aplico fungicidas y plaguicidas para evitar hongos y la presencia de plagas perjudiciales para el fruto.
 - 🌱 Labores culturales generales ----- Limpieza de malezas, deshoje de hojas secas en la planta para evitar que el desarrollo de la misma se afecte. Aporque del cultivo.

Productor (Campo 2) provincia Sancti Spiritus

- 1- Variedad de la fruta bomba ----- Maradol Roja
- 2- Selección de la semilla ----- Se pica el fruto a la mitad y tomo las semillas del centro.
- 3- Fecha de siembra ----- Entre el 15 y el 20 de agosto de 2017.
- 4- Manejo agro técnico completo
 - 🌱 Preparación del suelo ----- Se aplica aradura, cruce, surcadora y utilizo abono orgánico.
 - 🌱 Fertilización ----- Utilizo abono orgánico y aplico NPK y potasio a la planta.
 - 🌱 Riego ----- Riego periódicamente, aumentando los ciclos en dependencia de las lluvias y de las condiciones del suelo.
 - 🌱 Manejo fitosanitario ----- Fungicidas y plaguicidas para el manejo fitosanitario.
 - 🌱 Labores culturales generales ----- Mantengo el campo limpio de yerbas.