

**UNIVERSIDAD CENTRAL “MARTA ABREU” DE LAS VILLAS**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**Tesis Presentada en Opción al Título Académico de Máster en Ingeniería  
Agrícola**



**INFLUENCIA DE LA POSCOSECHA EN LAS PROPIEDADES  
FÍSICOS-MECÁNICOS Y ÓPTICAS DEL BANANO (*Musa spp.*).**

**Autora:** Ing. Tania de la Caridad Bermudez Camacho

**Tutor:** Dr. C. Carlos M. Martínez Hernández

**Año:** 2017-2018

# *Pensamiento*

---

## *Pensamiento*

*“Para trabajar inteligentemente el campo se necesita ciencia varia y no sencilla.”*

*José Martí*



# *Dedicatoria*



## *Dedicatoria*

*A mi madre por ser mi motor impulsor y la fuente de mi inspiración.*

# *Agradecimiento*

## *Agradecimientos*

*A mi madre y hermano por guiarme por el camino correcto y por andarlo junto a mí.*

*A mi esposo y mi suegra por ayudarme y consentirme durante toda esta larga travesía.*

*A la Ms.C. Dayana Marin Darias por su colaboración incondicional en todo momento.*

*Especial agradecimiento a mi tutor por su dedicación y constante apoyo en la elaboración de esta ardua tarea.*

*A todas las personas que de una forma u otra colaboraron en la realización de este trabajo,*

*Muchísimas Gracias.*

## RESUMEN

La presente investigación abordó el estudio de las propiedades físicos-mecánicas y ópticas del fruto del banano (Johnson) durante la poscosecha. Se estudió la variedad Cavendish (AAA), cultivar Cavendish Gigante (Johnson). Este cultivar fue analizado en sus propiedades físico-mecánicas y ópticas en el momento de la cosecha, así como a las 48 horas posterior a ser impactadas mecánicamente en 0.30 y 0.60 m de altura, sobre superficies de acero y sobre otros frutos. Se evaluaron los daños mecánicos en función de los días poscosecha, utilizando la espectroscopia. Los resultados fueron analizados mediante el paquete estadístico STATGRAPHICS Plus ver-5.1. Las propiedades físicas de los bananos mostraron que poseen una longitud media de 208,5 mm; circunferencia de 112,5 mm; grosor de la cáscara de 2,5 mm, grosor de la pulpa de 28,5 mm, peso del fruto 200 mm y relación pulpa/cáscara 1,85 mm. Se demostró que la calidad del fruto se ve afectada a impactos de una altura igual o superior a 0,30 m, en diferentes superficies, con un nivel de susceptibilidad que varía entre 0,0028 y 0,0035, permitiendo establecer la altura mínima a partir de la cual se verá afectada las propiedades físicas de la fruta (internas y externas) para su adecuado manejo poscosecha y mercadeo. El análisis de los espectros de reflectancia determinó que los mayores valores de longitudes de onda alcanzados se mostraron para la altura de 0,60 m, observándose que los cambios en las respuestas del espectro NIR son proporcionales a la magnitud de los daños mecánicos.

## **ABSTRACT**

The present investigation approached the study of the physical-mechanics and optic properties of the fruit of the banana tree (Johnson) during the postharvest. The variety Cavendish was studied (AAA), to cultivate Cavendish Giant (Johnson). This to cultivate Johnson it was analyzed in his physical-mechanical and optic properties in the moment of the crop, as well as at the later 48 hours to be impacted mechanically in 0.30 and 0.60 m of height, on steel surfaces and on other fruits. It was evaluated the mechanical damages in function of the postharvest days, using the spectroscopy. The results were analyzed by means of the statistical package STATGRAPHICS plus ver-5.1. The physical properties of the banana trees showed that they possess a half longitude of 208,5 mm; circumference of 112,5 mm; deep of the shell 2,5 mm, deep of the pulp 28,5 mm, weight of the fruit 200 mm and relationship pulp/shell 1,85 mm. was demonstrated that the quality of the fruit is affected to impacts of a same height or superior to 0,30 m, in different surfaces, with a level of susceptibility that varies between 0,0028 and 0,0035, allowing to establish the minimum height starting from which will be affected the physical properties of the fruit (intern and external) for its appropriate postharvest and marketing manage. The analysis of the reflectance spectra determined that the biggest reached values of wavelengths were shown for the height of 0,60 m, being observed that the changes in the answers of the spectrum NIR is proportional to the magnitude of the mechanical damages.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCION .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>4</b>
1.1. Características generales del banano Cavendish Gigante (Johnson).....	4
1.2. Valor nutricional.....	4
1.3. Importancia económica y distribución geográfica .....	5
1.4. Prácticas pre cosecha que afectan la calidad del banano.....	6
1.5. Cosecha y manejo del fruto en la plantación.....	11
1.6. Operaciones en la planta empacadora.....	13
1.7. Empaque, almacenamiento y transporte del banano .....	14
1.8. Propiedades y características de la fruta.....	17
1.9. Daños mecánicos.....	19
1.9.1. Factores que pueden ser causa de daños mecánicos .....	21
1.10. Componentes de la calidad.....	22
1.10.1. Control e inspección de la calidad del banano durante la poscosecha	23
1.10.2. Métodos para evaluar la calidad.....	24
1.10.3. Técnicas destructivas .....	25
1.10.4. Técnicas no destructivas .....	26
1.10.5. Empleo de la espectroscopia NIRS.....	28
<b>CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>32</b>
2.1. Metodología empleada para determinar el tamaño de la muestra .....	32

2.2. Metodología para la determinación de las principales propiedades físicas en bananos.....	33
2.3. Metodología para evaluar el desarrollo de la textura del banano durante los días poscosecha. ....	35
2.3.1. Metodología para la determinación del contenido de humedad de la cáscara y la pulpa del fruto.....	36
2.3.2. Metodología para determinar la estructura microscópica del tejido del banano .....	37
2.4. Metodología para determinar los daños mecánicos .....	38
2.5. Metodología para la determinación de los espectros de reflectancia .....	40
2.6. Metodología para el procesamiento y análisis estadístico de los datos ....	43

**CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....44**

3.1. Resultados obtenidos relacionados con el tamaño muestral.....	44
3.2. Resultados obtenidos relacionados con las principales propiedades físicas. ....	44
3.3. Resultados obtenidos en la evaluación del desarrollo de la textura del banano durante los días poscosecha.....	45
3.3.1 Análisis de los resultados relacionados con la humedad de la cáscara y la pulpa en el fruto.....	45
3.3.2. Análisis de los resultados obtenidos del estudio microscópico a la estructura del banano.....	46
3.4. Análisis de los resultados de los daños mecánicos a diferentes alturas y superficies. ....	49
3.5. Análisis de los resultados obtenidos en la variabilidad de los espectros de reflectancia VIS/NIR de las muestras de banano según impactos provocados	53

3.5.1 Alcances y Limitaciones del uso de la espectroscopia VIS-NIR..... 57

**CONCLUSIONES .....59**

**RECOMENDACIONES .....60**

**BIBLIOGRAFÍA**

## INTRODUCCION

El precio y consumo de la fruta del banano está cada vez más ligado a la calidad del producto final, y por ese motivo los productores y distribuidores de frutas planifican su proceso productivo con miras de satisfacer al máximo las exigencias de los consumidores (Diezma *et al*, 2001). Es de vital importancia para la salud humana el consumo de frutas frescas, por lo que en función de esto, resulta imprescindible la exigencia de calidad en los productos alimentarios, ya que es una demanda cada vez más generalizada en los mercados desarrollados de hoy (Harrington, 1990; Juran, 1990).

Es un derecho del comprador que su producto goce de la calidad de mercado requerida por las normas nacionales y mantenga en óptimas condiciones todas las características y propiedades del fruto, dentro de las que se encuentran: su valor nutricional, características organolépticas, características físicas y propiedades mecánicas; por lo que se hace necesario el conocimiento de las propiedades físico- mecánicas de cualquier producto agrícola para lograr una buena presentación y conservación del mismo, permitiendo definir el manejo más adecuado del producto durante su periodo de poscosecha (Buitrago *et al*, 2004; Yirat, 2009; Martínez, 2012).

Actualmente, en el mercado frutícola el banano es la fruta intertropical más consumida del mundo, esto se debe a la estabilidad y relativa facilidad en la obtención de este fruto y el alto valor nutritivo del mismo, rico en carbohidratos, potasio, fósforo, vitamina A y vitamina C (ICBF, 2005). Constituye una fuente de alimento importante en parte de África, en toda la América tropical y en el sur de la India, siendo este último su mayor productor mundial.

La producción global de bananos se estima en 27 millones. La mayor parte de la producción es destinada principalmente para el consumo local, sin embargo se exportan tan solo 9 millones de toneladas. La producción continua de fruto a lo largo de todo el año los hace especialmente valiosos como alimento en la época entre cosechas en los países tropicales (Guerrero, 2010).

En la actualidad, en nuestro país los bananos (*Musa ssp*) constituyen un renglón de elevada prioridad dentro del programa alimentario nacional, debido a su capacidad de producir todos

los meses del año, su elevado potencial productivo, arraigado hábito de consumo y diversidad de usos. La producción de bananos posee gran significación dentro de la producción de frutas en Cuba, pues representa más del 40% de este indicador anualmente y se degusta en el 94% de las instalaciones turísticas del país. La superficie cultivada de bananos y plátanos en años anteriores (Estadísticas, 2009) fue de 106,419 ha, cuya extensión es solo ligeramente superada por la de naranjas y de mangos.

Desde el momento de la cosecha hasta su venta, se hace indispensable establecer normas con el fin de preservar la calidad de los productos agrícolas, posibilitando que estos lleguen en óptimas condiciones al consumidor o a la unidad procesadora, por lo que se hace necesaria un adecuado manejo del producto para evitar que los mismos sufran daños mecánicos que los hagan inservibles. Según (Martínez, 2012), la conservación de productos agrícolas de alto consumo constituye una prioridad nacional atendiendo a las pérdidas que se registran en la etapa de poscosecha, debido a factores de orden tecnológico, deficiente infraestructura de las vías de transporte, empaques inadecuados, fallas y carencias en los procesos de recolección, selección y clasificación; todo lo cual se refleja en problemas de:

- comercialización por mala calidad del producto ofrecido y el consecuente desestimulo a la producción.

Para un óptimo manejo de los frutos agrícolas, debe tenerse presente que estos productos son estructuras vivas, que no mueren con su cosecha, si no, que siguen desarrollándose fisiológicamente hasta alcanzar su estado de senescencia.

Por todo lo antes mencionado el **objeto de estudio** se centra en el estudio de las propiedades físicos-mecánicos y ópticas del banano Cavendish Gigante (Johnson) y se identifica como **problema científico** ¿Cómo influyen los parámetros físicos-mecánicos y ópticos del banano en la calidad de la fruta durante el manejo poscosecha? Para el cual se planteó la siguiente **hipótesis**: con el análisis de los parámetros físicos-mecánicos y ópticos es posible mejorar la calidad del fruto durante la poscosecha.

Para dar cumplimiento a la hipótesis anterior se plantean los siguientes objetivos.

**Objetivo General:**

Evaluar la influencia de las propiedades físicos-mecánicas y ópticas en la calidad del banano (*Musa spp.*) durante la poscosecha.

**Objetivos Específicos:**

1. Determinar las propiedades físicas de la fruta en condiciones de laboratorio.
2. Analizar el desarrollo de la textura del banano en función de los días poscosecha.
3. Determinar las propiedades mecánicas de la fruta ante diferentes energías de impacto.
4. Determinar mediante la técnica de espectroscopia VIS/NIR la variabilidad de los espectros de reflectancia en diferentes longitudes de onda y ante diferentes energías de impacto.

## **CAPÍTULO I. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **1.1. Características generales del banano Cavendish Gigante (Johnson).**

La platanera tiene su origen en el Sudeste de Asia, aunque el cultivo comercial se inicia en las Islas Canarias de España, lugar donde continúa produciéndose. Desde su área de origen inicia un largo camino hacia todas las regiones tropicales y subtropicales del mundo. Las primeras noticias sobre esta especie se remontan a los dibujos existentes en las antiguas ruinas del monumento javanés a Buda levantado en Indonesia en el año 850 a. C. Se conoce en el Mediterráneo desde el año 650 d. C. La especie llegó a Canarias en el siglo XV y desde allí fue llevado a América en 1516. Los cultivares selectos sólo se introdujeron en las islas a comienzos del siglo XIX.

Actualmente los principales países productores son los de Sudamérica, América Central y Asia y los principales países importadores son Estados Unidos, Japón y Francia (FAO, 2016).

### **1.2. Valor nutricional**

El banano maduro es un alimento muy digestivo, pues favorece la secreción de jugos gástricos, por tanto es empleada en las dietas de personas afectadas por trastornos intestinales y en la de niños de corta edad. Tiene un elevado valor energético (1,1-2,7 kcal/100 g), siendo una importante fuente de vitaminas B y C, tanto como el tomate o la naranja. Numerosas son las sales minerales que contiene, entre ellas las de hierro, fósforo, potasio y calcio.

En la siguiente tabla 1.1 se muestra el valor nutricional del banano fresco por 100 gramos de sustancia comestible:

Tabla 1.1. Valor nutricional del banano fresco por 100 g de sustancia comestible. Fuente: (FAO, 2016)

<b>Agua (g)</b>	75,7	
<b>Proteínas (g)</b>	1,1	
<b>Lípidos (g)</b>	0,2	
<b>Carbohidratos</b>	<b>Total (g)</b>	22,2
	<b>Fibras (g)</b>	0,6
<b>Vitaminas</b>	<b>A (UI)</b>	0,6
	<b>B<sub>1</sub> (mg)</b>	0,05
	<b>B<sub>2</sub> (mg)</b>	0,06
	<b>B<sub>5</sub> (mg)</b>	0,32
	<b>Ácido nicotínico (mg)</b>	0,6
	<b>Ácido pantoténico (mg)</b>	0,2
	<b>C (mg)</b>	10
<b>Otros componentes orgánicos</b>	<b>Ácido málico (mg)</b>	10
	<b>Ácido cítrico (mg)</b>	150
	<b>Ácido oxálico (mg)</b>	6,4
<b>Sales minerales</b>	<b>Sodio (mg)</b>	1
	<b>Potasio (mg)</b>	420
	<b>Calcio (mg)</b>	8
	<b>Magnesio (mg)</b>	31
	<b>Manganeso (mg)</b>	0,64
	<b>Hierro (mg)</b>	0,7
	<b>Cobre (mg)</b>	0,2
	<b>Fósforo (mg)</b>	28
	<b>Azufre (mg)</b>	12
	<b>Cloro (mg)</b>	125
<b>Calorías (Kcal)</b>	85	

### 1.3. Importancia económica y distribución geográfica

Este cultivar es la fruta tropical más cultivada y una de las cuatro más importantes en términos globales, sólo por detrás del arroz, el trigo y el maíz. Los países latinoamericanos y del Caribe producen el grueso de los bananos que entran en el comercio internacional, a pesar de que los principales productores son India y China, siendo el principal cultivo de las regiones húmedas y cálidas del sudoeste asiático. Los consumidores del norte lo aprecian sólo como un postre, pero constituye una parte esencial de la dieta diaria para los habitantes de más de cien países tropicales y subtropicales.

Además de ser considerado un producto básico y de exportación, constituye una importante fuente de empleo e ingresos en numerosos países en desarrollo (InfoAgro, 2018).

En Cuba su uso es muy peculiar, debido a que constituyen, sin lugar a dudas, una de las fuentes fundamentales de carbohidratos en la dieta cubana. Su mayor ventaja se atribuye a que pueden estar en producción durante todo el año y por tanto, tienen una enorme importancia

en cualquier programa de autoabastecimiento, además este cultivar se degusta en el 94 % de las instalaciones turísticas del país.

#### **1.4. Prácticas pre cosecha que afectan la calidad del banano**

En nuestro país la producción de banano está basada en varios clones pertenecientes a los subgrupos Cavendish (AAA), Plantain (AAB), Burros (ABB) y tetraploides (AAAA, AAAB, AABB), introducidos de la Fundación Hondureña de Investigaciones Agrícolas (FHIA) (INIVIT, 2007). Una de las variedades empleadas comercialmente es el cultivar Cavendish Gigante (Johnson), perteneciente al subgrupo Cavendish, caracterizado esencialmente por su alto contenido de Sólidos Solubles Totales (SST) (Gastón *et al*, 2006).

Todo lo que se pueda decir y hacer en la fase de poscosecha no significa nada, si las labores previas a ella han sido descuidadas. Todas aquellas acciones preventivas, incluyendo la selección del material a sembrar, los cuidados culturales que el cultivo involucra y un adecuado manejo fitosanitario para evitar infecciones fungosas, bacteriales, virales y enfermedades fisiológicas, durante el lapso total del desarrollo del racimo, son imprescindibles si se quiere llegar a la cosecha con frutos de óptima calidad (Hernández, 1973).

#### **Preparación del suelo**

Es requisito fundamental que el suelo quede bien mullido y profundo para facilitar la penetración del sistema radicular. El número de labores estará en dependencia del tipo de suelo y del cultivo antecesor con una duración cercana a los 45 días. Como labores fundamentales están la subsolación y nivelación para mejorar drenaje interno y superficial.

El surcado se realizará lo más profundo posible en función del tipo de suelo (entre 25-40 cm) (Riofrío, 2003).

#### **Material de propagación**

- Vitroplantas: Se establecerán en viveros para su adaptación, se pueden plantar en bolsas de polietileno, bandejas u otras alternativas, con sustrato de suelo (60%) + materia orgánica (40%). La altura de la planta para su trasplante deberá estar entre 12– 15 cm.
- CRAS (Centro de Reproducción Acelerada de Semillas): Para la producción de semillas por este método los cormos se fraccionarán según su calibre (Tabla.1.2).

Tabla 1.2. Recomendaciones de los calibres para el cultivo del banano. Fuente: (INIVIT, 2004). .

<b>Calibres</b>	<b>Peso (Kg)</b>	<b>Nº de Fracciones</b>
A	> 2.72	10 – 8
B	1.81 – 2.72	8 – 6
C	0.9 – 1.80	6 – 4
D	0.5 – 0.9	2 – 3
Yemas	≤ 0.5	Sin fraccionar

La altura de la planta para su trasplante (Fig 1.1) deberá ser de 20 cm y en el momento de la plantación se dejará la hoja cigarro más 1 ó 2 hojas picadas a la mitad.



Fig 1.1. Altura de la planta para su trasplante. Fuente: (INIVIT, 2004).

➤ Pre germinador: Se puede establecer con fracciones de cormos (Fig 1.2), yemas, vitroplantas y plántulas de CRAS. Cuando se utilizan yemas, éstas deben ser clasificadas en los calibres siguientes:

- Calibre D: (900 – 500 gramos);
- Calibre E: (500 – 300 gramos);
- Calibre F: (300 – 100 gramos);
- Calibre G: (100 – 50 gramos).



Fig 1.2. Diferentes fracciones de cormos. Fuente: (INIVIT, 2004).

La distancia de plantación establecida en los pre-germinadores para los clones de banano fruta y vianda será de: 1.40–1.80 m de calle X 0.40–0.60 m entre plantas.

La extracción de las semillas se realizará a los 5 – 7 meses en función de la época de plantación.

Viveros: Para los sistemas extra densos se deben utilizar vitroplantas o yemas en bolsas de polietileno u otras alternativas. Las plantas deben tener una altura de 20–30 cm para el trasplante (INIVIT, 2004).

## **Plantación**

La época de plantación es durante todo el año, aunque cuando se carece de riego se efectúa la misma en los meses de marzo-agosto. En la tabla 1.3 se aprecia la distancia de plantación

recomendada por el Instituto Nacional de Investigación de Viandas Tropicales (INIVIT) de Cuba.

Tabla 1.3. Distancia de Plantación. Fuente: (INIVIT, 2007).

<b>Método</b>	<b>Distancia</b>	<b>Densidad</b>	<b>Conducción</b>
Hilera sencilla	4 x 1.60 m	1562 plantas/ha	Un portador
Hilera doble	4 x 2 x 1.80 m	1854 plantas/ha	Un portador
Hexagonal	2.30 x 2.65 m	1639 plantas/ha	Un portador

## **Riego**

Los bananos son plantas que requieren grandes cantidades de agua para alcanzar un abundante follaje y fuertes pseudotallos, pero es susceptible a desarrollarse en condiciones desfavorables con una reducción sustancial de sus rendimientos. En ausencia de lluvia se necesitan frecuentes riegos; aunque el consumo de agua por parte de la planta no es uniforme, pues varía durante los períodos de crecimiento, el ahijamiento, la emisión de la inflorescencia y el llenado de los frutos. Evidentemente, el plátano responde bien a grandes cantidades de agua aplicadas en intervalos frecuentes (Haarer, 1965).

Los tres sistemas de riego más utilizados son: Riego por gravedad, aspersión y localizado. Para los sistemas de riego por gravedad y aspersión se recomienda la aplicación de 4-5 riegos/mes en los suelos ferralíticos rojos y nunca menos de 3 para los suelos oscuros. En el caso del sistema localizado (microjet aéreos y terrestres) es necesario planificar riegos diarios entre 2-3 horas (Martínez, 1984).

En la Empresa de Cultivos Varios la Cuba, ubicada en la provincia de Ciego de Ávila, insignia de la agricultura cubana, produce el banano fruta que se degusta en el 94% de las instalaciones turísticas del país, se aplica para estas dos variedades líderes: el Gran Enano y el Cavendish Gigante, el sistema de riego localizado o también llamado por goteo, aplicado directamente a

las raíces de los plantíos (Fig 1.3), donde ya existen más de 700 hectáreas con esa tecnología de fertirriego y prevén incrementarlas para mantener un buen abastecimiento a los mercados agropecuarios estatales avileños, el turismo y también ayudar a otros territorios (Castillo, 2012).



Fig 1.3. Riego localizado en la raíz del plantón. Fuente: Elaboración propia.

### **Fertilización**

De no contar con fertilizantes químicos, aplicar otras fuentes alternativas como:

- **Materia orgánica (M.O.):** Pueden ser utilizados los siguientes materiales (cachaza, ceniza, compost, gallinaza, humus de lombriz, etc). La dosis recomendada es de 20 Kg/planta de M.O. (cachaza, compost, vermicompost, humus, etc) + 10 Kg/planta de ceniza; se deben aplicar: 50 % en el momento de la plantación en el fondo del surco y 50% a los 90 días posteriores, alrededor de la planta.
- **Biofertilizantes (micorrizas):** La principal especie es la *Glomus intraradices*, a una dosis de 100 g/planta en el momento de la plantación (Norma técnica para el cultivo del plátano 1976).

### **Rendimiento**

El rendimiento de una plantación de bananos depende de las condiciones del suelo, de los métodos de cultivo y de la variedad plantada, pero puede esperarse una producción de entre 7 y 16 toneladas anuales de fruta por hectárea de plantación, y las plantaciones comerciales como es el caso del banano Cavendish Gigante, superan las 23 toneladas/ha (Simmonds,

1960). No siendo así cuando se le aplica un sistema de riego localizado, donde se ha visto un crecimiento en el rendimiento del fruto, alcanzando promedios de más de 50 toneladas por hectárea (Castillo, 2012).

## **1.5. Cosecha y manejo del fruto en la plantación**

### **Maduración**

La maduración de los frutos se conoce como el proceso mediante el cual adquieren las características que los hacen aptos para ser comestibles. Se consideran dos tipos de maduración: técnica y fisiológica. La maduración técnica se presenta cuando los frutos están listos para el consumo, ya sea verde, pintón o maduro (como su nombre lo indica, es un término técnico). Hay muchos frutos en que su estado óptimo para el consumo es cuando está verde y en estado de madurez ya no está apto para ser consumido. Durante la etapa de maduración fisiológica, los frutos experimentan transformaciones físicas y químicas, que provocan cambios en: color, olor, sabor, textura, etc (Martínez, 2012).

### **Determinación de la maduración para la cosecha**

Los métodos usados para medir la maduración de un producto pueden basarse en una estimación subjetiva por parte de las personas que están realizando la operación. Para lograr esto se pueden usar la vista, el tacto, el olfato, la formación de cambios morfológicos, los cálculos y la resonancia. Estos métodos pueden tornarse más objetivos y quizás más consistentes usando ayudas como cartas de coloración (Arrieta *et al*, 2006). Análisis químicos y físicos también son utilizados y éstos dependen de los procedimientos de muestreo y pueden ser usados sólo para productos a los cuales se les puede tomar una muestra pequeña pero representativa (Dadzie *et al*, 1997).

Grados de maduración según la observación de las personas:

- Frutas crecidas casi por completo, verde en su color y con un nivel de hombros a la par con la inserción del tallo.
- Los hombros por encima de la inserción del tallo debido a mayor crecimiento de la fruta, y su color de cáscara cambia a verde claro.

- No hay más crecimiento pero la fruta está a un punto de tornarse blanda, y el color está presente en la cáscara.

## **Cosecha**

La etapa de recolección en el cultivo de banano, está sujeta a las exigencias del mercado y al destino final de la fruta. Para el mercado nacional la cosecha de este cultivar está determinada por el grosor y llenado de la fruta, procedimiento que se realiza de manera visual, teniendo siempre en cuenta su estado “Pintón o maduro”, racimos de 11 a 12 semanas y grosor mínimo de 38 mm, de 10 a 22 frutos por mano para un total de 12 manos por racimo. En el mercado internacional la cosecha se basa en una edad de 9 a 11 semanas, grosor de 40 mm y largo de 28 cm (López, 1972).

El cultivo del banano puede ser recogido del campo de disímiles maneras, trayendo esto consigo algunas anomalías según el tipo de centro de acopio. La recolección se realiza manualmente con un machete, punzando el seudotallo un poco más arriba de la parte media, dejándole 30 cm al eje de la inflorescencia por la parte superior y de 15 a 30 cm por la parte inferior para poder ser manipulado, evitando siempre que el racimo toque el suelo (INIVIT, 1985), mayormente se recoge sin empaque, en muchos casos, sobre la cabeza u hombros de los recolectores (Fig 1.4), operación que más tarde afectará directamente las características propias del fruto, es lo más utilizado en los sectores estatales y campesinos que no disponen de una amplia tecnología, a pesar de que mayormente consume mucho tiempo y deja el producto desprotegido y sometido al daño por la manipulación (López, 1995), no siendo así en la Empresa de Cultivos Varios La Cuba, entidad que decide en el balance nacional del plátano en nuestro país, la cual emplea medios mecánicos para transportar los racimos de banano del campo hacia su centro de beneficio (Fig 1.5). Estos consisten en vías por cable que atraviesan toda la plantación. Estas vías por cable tienen carretillas miniatura que corren por los cables y agarran los racimos. Estas carretillas están conectadas en grupos que forman un tren que luego es halado junto hacia la empacadora a donde convergen los cables. Los trenes pueden ser halados por una persona, un animal o un pequeño tractor.



Fig 1.4. Recogida de banano en el campo. Fuente: (López, 1995).



Fig 1.5. Recogida de banano en el campo mediante medios mecánicos. Fuente: Archivos del autor.

### **1.6. Operaciones en la planta empacadora**

Después que el banano llega a la planta empacadora o centro de acopio se realizan un conjunto de actividades continuas con el fin de maximizar y mejorar su calidad. Dentro de las operaciones realizadas se encuentran:

#### Desmane:

El desmane es un procedimiento por medio del cual se retiran con una cuchilla bien afilada y desinfectada, los dedos o manos del mástil y se depositan en un tanque con agua limpia, liberando la fruta de las suciedades y retirando el producto dañado. El desmane es preparar el producto para la venta, según la destinación de mercado (Menéndez, 1923).

### Lavado:

Una vez se realiza el lavado, la fruta seleccionada se ubica en una solución de agua limpia y alumbra al 1% durante cinco a diez minutos, con el objetivo de cicatrizar los cuellos o dedos y evitar que la mancha afecte la piel del producto. Si el producto viene mojado del campo o alimentado por inmersión éste normalmente es pre limpiado con agua pero esto depende del producto. Muchos productos no pueden ser lavados porque esto puede incrementar sus niveles de pudrición ya que esto ofrece un adecuado ambiente para el desarrollo de hongos y bacterias.

### Limpieza en seco:

Algunos productos son limpiados sin agua. Hay sistemas de cepillos secos que eliminan cualquier hoja o partícula levemente adherida y dan un efecto de brillado con la opción de aspirar. La limpieza con cepillos también es significativamente más barato y puede darse en forma de máquina portátil.

Los aspiradores son máquinas simples que se valen de una fuerte succión de aire que quita cualquier hoja o materia que esté levemente adherida.

### Selección y clasificación:

Se trata de seleccionar y clasificar la fruta según las normas de calidad establecidas para el consumo de producto fresco, a nivel nacional o internacional, procurando siempre aumentar la satisfacción de la demanda, mediante el cumplimiento de los requisitos señalados en las normas técnicas (Rodríguez, 1967).

### Encerado y brillado:

Muchas frutas se pueden beneficiar de la aplicación de ceras y del brillado posterior. Esto no es simplemente para mejorar la apariencia, la que por su puesto es muy importante, sino también para mejorar la calidad del almacenamiento del producto (Thompson, 1998).

## **I.7. Empaque, almacenamiento y transporte del banano**

Es importante que la fruta se fije dentro de la caja para que se sostenga apretada y reducir el movimiento de la fruta durante el transporte, pero no tan apretada como para que la fruta esté

comprimida. Los bananos pueden variar considerablemente en tamaño, pero la caja que contiene la fruta debe permanecer del mismo peso. Esto ha llevado al desarrollo de técnicas en el empaque de las manos de banano usando películas de poliestireno y corrugado de pulpa (Montuschi, 1968).

#### Pesado y empaque:

Para el mercado nacional el empaque más utilizado es la canastilla plástica o caja de madera, con una capacidad de 18 a 22 Kg de peso, resistente al transporte, reutilizable, lavable y permite el estibamiento del producto (López, 1995).

Para el mercado internacional, se utilizan cajas de cartón rígidas y perforadas, con envolturas de polietileno con huecos de ventilación de 0.05 milésimas de pulgada. Para evitar los daños por roce, los dedos grandes se colocan en la parte inferior y los rectos en la parte de arriba (aproximadamente 55 a 60 dedos por caja).

#### **Almacenamiento**

Dentro de los procesos de almacenamiento y transporte de frutas encontramos factores físicos, químicos y biológicos, que pueden afectar la inocuidad de los productos. Estos factores son conocidos como riesgos que pueden provocar un daño a la salud del consumidor. Estos aspectos pueden estar acompañados de la severidad del daño a los que son expuestos en ocasiones durante su manejo.

Las cajas empacadas deberán colocarse en una tarima generalmente de madera, aunque la tendencia es que sean de plástico de dimensiones estándar: 1.0 X 1.2 m para evitar que tengan contacto directo con el suelo.

Existen diversas maneras de estibar las cajas, así como con respecto a la altura, las cuales dependen del producto del diseño y de la resistencia de la caja. Es importante permitir la circulación de aire a través de los orificios de las cajas para hacer eficiente el control de la temperatura ya que debe haber una ventilación adecuada, facilitando la limpieza y la inspección para detectar la presencia de roedores e insectos (García *et al*, 2003).

Para el mercado nacional con destino a consumo local no siempre se toman las medidas necesarias para su correcto almacenamiento (Fig 1.6), no siendo así en los mercados con

destino a divisa, por lo que se hace necesario la aplicación de programas de inocuidad de alimentos, a través de la implementación de las Buenas Prácticas Agrícolas y de Manejo, estas constituyen pasos importantes para reducir los posibles riesgos de contaminación asociados con los productos hortofrutícolas a lo largo de la cadena de producción y distribución (Fig. 1.7).



Fig 1.6. Almacenamiento nacional con destino al mercado local. Fuente: Archivos del autor.



Fig 1.7. Almacenamiento nacional con destino al mercado en divisa. Fuente: (García *et al*, 2003).

## Transporte

La adecuada manipulación de productos hortofrutícolas durante el transporte es crucial para la seguridad de los alimentos. Todo el tiempo y esfuerzos dedicados en la reducción de la contaminación microbiana durante la producción, cosecha, lavado y embalaje se habrán malgastado si las condiciones del transporte no son adecuadas (FAO, 2008).

### Transporte nacional:

En el método tradicional, los racimos se llevan a oscuras en vehículos cerrados o en vehículos abiertos (Fig 1.8) y se transportan directamente hasta los puntos de embarque para el transporte de larga distancia, lo que ocasiona grandes pérdidas por daños mecánicos. El empaquetado en cajas para el transporte que abastece el mercado estatal (MAE) ha

ocasionado durante años la pérdida de frutos por los golpes contra las paredes y fondo del recipiente, por lo que no se considera como el sistema más idóneo para el transporte. Hoy se acostumbra a transportarlas suspendidas (Fig 1.9), en vehículos acondicionados especialmente, para evitarlo, dependiendo del destino final de la producción, en este caso el mercado en divisa. Los racimos deben cubrirse para evitar que la luz induzca la maduración antes de tiempo. Antes del embalaje para el transporte de larga distancia, los racimos se lavan en tanques con una solución de hidrocloreto de sodio para eliminar los restos de látex y mejorar su presentación; a veces, después del lavado, se aplica fungicida en la superficie cortada para evitar la podredumbre del fruto. Los racimos manchados o dañados después del lavado se destinan al consumo local.



Fig 1.8. Transporte nacional con destino al mercado estatal (MAE). Fuente: Archivo del autor.



Fig 1.9. Transporte nacional con destino al mercado en divisa. Fuente: (García *et al*, 2003).

### 1.8. Propiedades y características de la fruta

Según lo planteado por (Arcila, 1998), el manejo poscosecha debe tener en cuenta los cambios que ocurren en la etapa de maduración del banano, los que se evidencia a partir

de los cambios estructurales, bioquímicos y físicos para cada fruto, lo cual tiene estrecha relación con las características y la calidad del mismo:

- Físicas:  
(Peso, forma, tamaños, área, volumen, peso específico, índices de redondez, esfericidad y elipsoidal).
- Mecánicas – Reológicas (físicas-mecánicas):  
Textura: Firmeza-turgencia
- Ópticas:  
(Tramitancia y reflectancia de la luz)
- Térmicas:  
(Calor específico, calor sensible o de campo)
- Fisiológicas:  
(Madurez fisiológica, Comercial y de consumo)
- Químicas y Bioquímicas:  
(Cambios composicionales por actividad metabólica)
- Nutricionales:  
(Composición química de los rubros)
- Organolépticas:  
(Apariencia general, sabor, olor, color, sonido)
- Funcionales (Aprovechamiento industrial del producto).

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, la realización y aplicación de un estudio de los parámetros físicos-mecánicos y ópticos de la fruta, definiría las diferentes fuerzas o cargas, cuyas magnitudes resultarían determinantes para mejorar técnicas de empaque, transporte, índices de cosecha, control de calidad, manejo y control de daños mecánicos al someterlos a cargas estáticas o dinámicas, introduciendo para este análisis los atributos físicos-mecánicos que la constituyen, como son:

1. Textura:  
Relación entre la firmeza y la turgencia.
2. Firmeza:

Relación entre la distribución de los tejidos, el nivel de fibra y la composición de las paredes celulares.

### 3. Turgencia:

Se refiere al contenido de humedad en el tejido, que atribuye crujencia al producto.

De acuerdo con (Cardona *et al*, 2005), la firmeza/textura mide la resistencia a daños físicos ocasionados por medios mecánicos durante la recolección, manipulación y transporte; depende del momento y método de recolección y de la temperatura de almacenamiento.

Existen distintas técnicas para medir la firmeza, basadas en diferentes propiedades mecánicas. Las técnicas más empleadas son: la punción, la compresión, la penetración, etc. En general, los ensayos tradicionales de firmeza miden la fuerza que opone un material biológico al ser perforado o comprimido hasta cierta profundidad y su deformación. Este parámetro es utilizado como un índice de madurez/maduración, es una importante característica de calidad poscosecha, por lo que analizaremos la tasa de ablandamiento del banano en función de los días poscosecha después de habersele provocado un impacto al fruto. La estimación de esta propiedad es significativa en la evaluación de la susceptibilidad a daños físicos o mecánicos o al manejo poscosecha.

La fruta crujiente, dura y verde se convierte en una fruta amarilla con la pulpa interna tierna y suave en la etapa óptima de madurez, y se torna blanda a medida que avanza hacia la senescencia. La pérdida de firmeza durante la maduración lleva a una calidad más baja y a una mayor incidencia de daños mecánicos durante la manipulación y transporte, por lo que se hace indispensable conocer el momento óptimo de la fruta, donde alcanza todas sus propiedades y donde sería menos susceptible a los daños mecánicos.

### **1.9. Daños mecánicos**

Según (Dadzie *et al*, 1997; Martínez, 2012), los daños mecánicos son uno de los principales factores que conllevan al deterioro poscosecha de los bananos. Pueden ocurrir en cualquier momento desde el punto de la cosecha hasta el punto de consumo. Los daños mecánicos pueden restar valor a la apariencia del producto y crean el potencial para la penetración de infecciones. También pueden resultar en una baja calidad para el mercado y precios más bajos.

Por lo tanto, los nuevos híbridos de *Musa* deben ser evaluados respecto a la susceptibilidad a daños mecánicos.

Existen tres principales fuentes de daños mecánicos que afectan el fruto y están clasificados de la siguiente manera:

➤ Daños por presión (o compresión):

Los daños por presión (o compresión) resultan de la presión excesiva sobre la fruta. No hay necesidad de movimiento físico para que ocurra el daño por presión. El daño por presión puede ser causado por otras frutas y ocurre primeramente durante y después del empaque como resultado de forzar la entrada de demasiados productos en un contenedor muy pequeño (es decir, sobre empacado, o cuando los empaques se apilan muy alto, uno arriba de otro).

➤ Daños por vibración:

El daño por vibración es principalmente asociado con el transporte y resulta de la vibración repetida y prolongada de la fruta. Este daño es mayor en las capas superiores de la fruta, particularmente, cuando el empaque es poco compacto, ya que en esta situación nada impide que la fruta vibre durante el transporte y distribución. El daño por vibración es particularmente severo cuando el empaque de las frutas es muy suelto.

➤ Daños por impacto:

Este último es considerado de vital importancia debido a que puede ocurrir durante todo el proceso de comercialización desde la cosecha hasta la llegada al consumidor. Estos pueden resultar en magulladuras con o sin rotura de la cáscara. Las magulladuras por impacto son causadas por un golpe fuerte como, por ejemplo, el de un objeto que cae sobre la fruta, el de la fruta que cae contra otra fruta o en una superficie dura con fuerza suficiente para dañar y hasta separar las células. Algunas veces los daños no son visibles, pero pueden presentarse más tarde.

Un estudio que se llevó a cabo con bulbos de cebolla demostró que si éstos se caían sobre una superficie dura éstos se podían dañar incluso con una caída de sólo unos 30 cm de altura (Ruiz Altisent, 1990). En un estudio acerca del manejo del ñame se demostró que al someter el tubérculo a impactos que se experimentaban comúnmente durante su manejo esto dio como

resultado pérdidas durante el almacenamiento (Delwiche, 1987). En ocasiones los daños puede ser obvios en la superficie del fruto como también en su interior (Dadzie *et al*, 1997). De acuerdo con (Bermudez, 2015), las diferencias en la altura de la caída de frutos sobre diferentes superficies repercuten de forma significativa en los daños que se le puedan inferir al fruto durante su manipulación, transporte y almacenamiento.

Según (Correa *et al*, 1995), varios investigadores han utilizado equipos de ensayo con impactadores y controlados por ordenador, para el estudio de la resistencia al impacto con el fin de evaluar la susceptibilidad a los daños que pueden ocurrir. Otros investigadores (Chen *et al*, 1985; Delwiche, 1987; Jaren, 1990; Ruiz Altisent, 1990), han realizado avances en el diseño y aplicaciones de un dispositivo para las determinaciones de las respuestas al impacto en frutos. En estos trabajos se ha podido observar una evidente relación entre los parámetros resultantes del impacto y el grado de madurez. Se ha comprobado también que un pequeño impacto que no resulta en daño significativo al fruto, puede ofrecer datos e informaciones fiables y útiles en la clasificación de frutos según el estado de madurez.

### **1.9.1. Factores que pueden ser causa de daños mecánicos**

Según (Dadzie *et al*, 1997), los factores que pueden ser causa de daños mecánicos son los siguientes:

➤ Factores pre cosecha:

Entre los factores pre cosecha que pueden ser causa de daños mecánicos en los bananos se encuentran el clima, viento, aspersión y aplicación de fertilizantes, plagas de insectos, pájaros, roedores e implementos de cultivo.

➤ Factores de cosecha:

Durante el proceso de la cosecha, el daño mecánico podría resultar de las pobres técnicas de cosecha y manipulación. La tierra que se adhiere a las frutas (cuando se permite su caída durante la cosecha) también puede causar daños rayando las frutas al remover la tierra o lavarla.

➤ Factores poscosecha:

Los factores poscosecha que pueden ser causa de daños mecánicos son los siguientes:

- Alta o baja densidad en el empaque de las frutas.
- Empaque o manipulación pobres de las frutas empacadas durante la carga y descarga.
- Vibración (sacudidas) de los vehículos especialmente en malas carreteras, velocidad de transporte y el tipo de suspensión.

### **1.10. Componentes de la calidad**

La calidad tiene diversos componentes que se utilizan para evaluar las frutas en relación a las especificaciones a cumplir en las distintas categorías comerciales establecidas, los programas de mejora genética y en la evaluación de las respuestas a distintos factores ambientales y tratamientos poscosecha.

La importancia de cada uno de los factores de calidad depende del producto y de su uso (fresco o procesado).

Los componentes de calidad de la fruta fresca se relaciona con:

- Apariencia
- Aroma
- Composición química
- Residuos químicos
- Aditivos
- Color
- Marcas defectuosas
- Sabor y gusto
- Valor nutricional
- Uniformidad
- Textura

Y cualquier otro parámetro que el consumidor considere aceptable basándose en su experiencia y educación (Kader, 2007).

La calidad de frutas es así mismo, medida por su aporte nutricional, especialmente como fuentes de vitaminas (A, C, B6, tiamina, niacina), minerales (zinc, calcio, potasio y fósforo) y fibra dietética. Las pérdidas poscosecha en la calidad nutricional, particularmente en el contenido de vitamina C, pueden ser sustanciales y se incrementan con los daños mecánicos.

### **1.10.1. Control e inspección de la calidad del banano durante la poscosecha**

El control de calidad para las frutas se basa en las características organolépticas y fisicoquímicas ya que estas son considerables para obtener un beneficio tanto para el alimento como para el consumidor (Lopez, 2015).

La calidad de los frutos frescos es una combinación de características, atributos y propiedades que le dan al producto su valor como alimento. La importancia relativa de cada componente de la calidad depende del producto y cómo se utiliza; el concepto varía entre los productores, manipuladores y los consumidores.

Para los productores, el producto debe tener alto rendimiento y buena apariencia, ser de fácil cosecha, y resistir largas distancias hasta los mercados.

Para los envasadores y distribuidores, la calidad interna (sabor, defectos internos y firmeza) y externa (color, tamaño, defectos) es lo más importante, además de contar con una larga vida comercial.

Los consumidores opinan que la apariencia y la frescura son los factores más importantes en el momento de la compra. Éstos seleccionan productos de tamaño, color, forma y firmeza apropiados. Son también importantes la calidad nutricional y propiedades relacionadas con la salud. (Bruhn, 2007), indica que los parámetros determinantes de la calidad en el momento de la compra son el sabor, el valor nutritivo, la inocuidad y el precio.

Por estas razones existen las normas de calidad para el fruto del banano, con el objetivo de:

- Proporcionar un lenguaje común dentro de la industria entre los productores, manejadores, procesadores, etc;

- Para ayudar a los productores y manejadores a hacer un mejor trabajo en la preparación y etiquetado de los productos que van al mercado;
- Para proveer bases para pagos incentivos a los productos de mejor calidad;
- Servir como base para reportes de mercado en precios, noticias, servicios;
- Para ayudar en la solución de quejas y disputas entre los compradores y los vendedores por causa de daños.

Las normas de calidad se refieren a los atributos que le interesan al mercado y al consumidor y deben ser de fácil aplicación.

Para la comercialización en los mercados locales se recomienda aplicar los factores y valores contemplados en las normas nacionales (NC-77-96) y para fines de exportación la norma del (Codex Stan, 2001), es necesario cumplir con las exigencias de calidad y envase de los países importadores (Arias *et al*, 2000).

### **1.10.2. Métodos para evaluar la calidad**

El control de calidad consiste en dos etapas:

1. la evaluación sensorial (características organolépticas).
2. la evaluación técnica.

Según (Rojas, 2009), estos sistemas tradicionalmente han utilizado métodos destructivos basados en análisis físico-químico y algunos métodos no destructivos basados en análisis subjetivos empleando escalas hedónicas.

El control de calidad comienza en el campo con la selección del momento adecuado de recolección para maximizar la calidad del producto.

El sabor mínimo aceptable para los productos hortofrutícolas es determinado mediante la relación entre el contenido en sólidos solubles y la acidez titulable.

La calidad relacionada con la apariencia física incluye el tamaño, la forma, color y defectos externos.

El tamaño y la forma se evalúan mediante la relación de las dimensiones características de la fruta u hortaliza. Dichas medidas se realizan con anillos especiales para tamaño, calibradores

y balanzas digitales, basadas en escalas proporcionadas por la investigación científica, mientras que el color externo, se realiza tradicionalmente en forma manual y se mide por medio de cartas de color habituales y específicas según el producto. También puede medirse el color mediante aparatos ópticos (cromo metros), los cuales poseen una escala de colores L, a y b de Hunter, que pueden medir cuantitativamente este parámetro, aunque esta práctica no es frecuente en nuestro país (Dadzie *et al*, 1997; Martínez, 2012).

Las frutas con presencia de defectos externos son identificadas visualmente y separadas manualmente de las líneas de envasado y clasificado. Los criterios para separar estos productos difieren de un producto a otro, pero esencialmente están basados en la ausencia de magulladuras, manchas, cicatrices, pudriciones y malformaciones.

Sin embargo, la industria no puede basarse solamente en una selección por características externas, a pesar que la preferencia del consumidor se fundamente en ellas.

### **1.10.3. Técnicas destructivas**

La condición superior de consumo, se consigue a través de la calidad de los atributos internos de las frutas (Harker *et al*, 2008). Los atributos internos se determinan generalmente con métodos analíticos destructivos, que como lo indica su nombre son pruebas que deforman al material o producto parcial o totalmente, como muestra en la figura 1.10, donde se utiliza la refractometría, la titración, el uso de penetrómetros y texturómetros 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.



Fig 1.10. Algunos de los instrumentos utilizados en Técnicas destructivas. Fuente: Archivos del autor.

Si bien es cierto que los métodos físicos, químicos, y biológicos están en continua renovación, y que es generalmente aceptado el hecho de que los laboratorios son capaces de determinar cualquier constituyente de un alimento, sea cual sea la concentración en la que se encuentra, es igualmente reconocido que la alta sofisticación del equipamiento, junto con la lentitud y el alto coste por muestra de los métodos tradicionales, dificulta su implantación en los programas actuales de Gestión de Calidad. Todo ello plantea la necesidad de disponer de métodos rápidos, precisos y económicos para la determinación analítica de las características físicas, químicas y sensoriales de los productos agrícolas.

En este contexto, la industria realiza numerosos esfuerzos para llevar a cabo determinaciones no destructivas de la calidad, que no dañen ni deprecien el producto, de forma que éste pueda ser posteriormente vendido y/o utilizado para otras mediciones (Peiris *et al*, 1998).

#### **1.10.4. Técnicas no destructivas**

Las técnicas no destructivas o pruebas no destructivas (también llamado END, o en inglés NDT de *nondestructive testing*) se han practicado por muchas décadas. Se tiene registro desde 1868 cuando se comenzó a trabajar con campos magnéticos. Se denomina así a cualquier tipo de prueba practicada a un material o producto que no altere de forma permanente sus propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales (Fig 1.11). Los ensayos no

destrutivos implican un daño imperceptible o nulo. Los diferentes métodos de ensayos no destructivos 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 (Wikipedia, 2017).

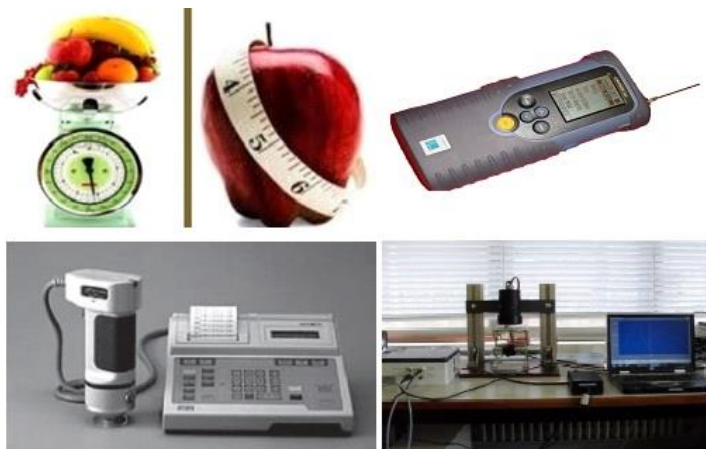


Fig 1.11. Algunos de los instrumentos utilizados en Técnicas no destructivas. Fuente: Archivos del autor.

Existen una amplia variedad de métodos no destructivos como son: el colorímetro, la nariz electrónica (Hand-held electronic nose), la Espectroscopia VIS/NIRS, fluorescencia, rayos, X, etc., que están siendo evaluados y utilizados por la industria para medir atributos de calidad de frutas intactas (Hutton, 1998; Peiris *et al*, 1998).

Entre estas técnicas y dentro de las propiedades ópticas la Espectroscopía en el Infrarrojo Cercano (NIRS), reúne una serie de requisitos adecuados para que se puedan investigar y desarrollar sistemas de aseguramiento y control de calidad de productos y procesos acordes con las nuevas demandas, ya que son esenciales en la mayoría de los aspectos de la vida diaria, y por ello tienen su aplicación a los productos agroalimentarios.

Entre los principales atributos de esta tecnología destacan su alta velocidad de respuesta, su gran precisión y exactitud, su bajo coste analítico por muestra, la nula o escasa necesidad de preparación de muestra, su versatilidad para el análisis de muy diversos productos y parámetros, su elevada reproducibilidad y repetitividad, la posibilidad de su incorporación en

línea, así como el ser una técnica limpia que no utiliza reactivos y que, por tanto, no produce residuos (Garrido *et al*, 1993; Garrido, 1997).

#### **1.10.5. Empleo de la espectroscopia NIRS**

La Espectroscopía en el Infrarrojo Cercano, NIRS, es una técnica analítica usada en la determinación de atributos de índole cualitativo y cuantitativo aplicada a una gran variedad de sectores productivos, y una alternativa a los análisis tradicionales de laboratorio para el control de calidad de alimentos (Osborne *et al*, 1993; Thyholt *et al*, 1997; Williams, 2001; Cen *et al*, 2007).

Fue inicialmente descubierta por el astrónomo, músico y científico Frederick William Herschel, cuando haciendo pasar la luz solar por un prisma tomó la temperatura de la región contigua a la zona rojiza del espectro visible. El termómetro demostró la existencia de una forma de luz invisible más allá del color rojo (Peguero *et al*, 2010).

El empleo de la espectroscopia NIR para la determinación no destructiva de parámetros internos de calidad en alimentos está ampliamente extendido. Sus primeros pasos se remontan a comienzos de los años 50 como consecuencia de la aparición de los primeros espectrofotómetros comerciales (Martens *et al*, 1989; Garrido *et al*, 1993; McClure, 2003), pero su impulso importante no fue hasta la década de los 60, cuando Karl Norris empezó a usar esta técnica para el estudio de matrices complejas de origen vegetal. Sus trabajos se orientaron en el campo agroalimentario e impulsaron el interés por la espectroscopia (William, 1954).

Los rangos de trabajo más empleados para el estudio de productos alimentarios han sido el visible (VIS) y el infrarrojo cercano (NIR), al ser zonas del espectro de fácil manejo y cuya tecnología no resulta excesivamente cara.

La tecnología NIRS se basa en la emisión de un haz de luz sobre la muestra a analizar, la luz se caracteriza por su longitud de onda, siendo la luz visible la región de longitudes de onda entre 400 nanómetros (nm) y 700 nm, la cual en función de su composición, o mejor aún, de la naturaleza de los enlaces presentes en sus moléculas, fundamentalmente de aquellos de tipo  $-CH$ ,  $-NH$  y  $-OH$ , interaccionará con ellos absorbiendo una determinada cantidad de

radiación electromagnética en el rango del infrarrojo cercano, de 700 a 2500 nm (Shenk *et al*, 2001).

Los primeros trabajos sobre espectrofotometría que se realizaron demostraron la variabilidad de sus aplicaciones como son: composición analítica, calidad interna, colorimetría y clasificación por color, entre otras (Skoog *et al* 1998), además de atributos texturales en los que están implicadas las propiedades del tejido relacionadas con la dispersión de la luz (Nicolai *et al*, 2007). Como el mismo autor señala, los productos agroalimentarios poseen una serie de peculiaridades que dificultan la medida de espectros: su forma, sus propiedades de difusión de la luz, la presencia de pigmentos que producen fluorescencia, etc. Por esto, la espectrofotometría, en los materiales biológicos, debe adaptarse a las características del producto estudiado en cada caso.

Así, para la evaluación de la calidad de productos agroalimentarios mediante técnicas espectrales, es importante la selección de índices de calidad (Chen *et al*, 1991).

Los índices de calidad son valores cuantitativos formulados a partir de uno o varios datos del espectro. Para que sean eficaces deben:

1. Correlacionar bien con el factor que se desea evaluar.
2. No deben ser afectados por otros parámetros físicos del producto.
3. Deben variar poco con distintas condiciones de medida.

Son muy variables los productos sobre los que se han aplicado estas técnicas para predecir distintos aspectos de su calidad, empleándose tanto el rango VIS como el NIR (Workman, 2004).

➤ Aplicaciones a la medida de la calidad externa:

El estudio de la calidad externa fue una de las primeras aplicaciones de la espectroscopia. Se trataba de establecer sistemas capaces de detectar daños en la superficie de los frutos, como base para su selección automática.

Según investigaciones de (Gaffney, 1973), que trabajó en cítricos para la detección de daños en su superficies, mediante el uso de espectroscopia en el rango VIS-NIR. Las bandas de 570 a 600 nm resultaron las adecuadas para diferenciar frutos dañados y sin daños. En este

trabajo, aunque se menciona la posibilidad de generar índices de calidad, no se establece ninguno, sino que los autores trabajan directamente con el porcentaje de reflectancia respecto del blanco.

Los autores (Brown et al, 1974) estudiaron la posibilidad de detección de magulladuras en manzanas mediante reflectancia en el rango del infrarrojo cercano, también empleando porcentaje de reflectancia. En trabajos posteriores se va desarrollando la metodología de tratamiento de las curvas espectrales en cuanto a la selección de variables y la creación de índices de calidad.

Para la detección de diferentes daños en tomate, (Ruiz-Altisent *et al*, 1982), emplearon espectrofotometría en el rango UV-VIS y NIR, tanto las curvas de reflectancia como sus primeras derivadas. A partir de ambas es posible la obtención de índices de calidad y ecuaciones discriminantes que separan tomates sanos y con daños. Los mejores resultados se obtuvieron para las primeras derivadas de los espectros, en el rango del visible.

Para la detección de daños en melocotón, (Miller *et al*, 1991) utilizan espectros de reflectancia con el objetivo de caracterizar ópticamente los defectos más frecuentes en melocotón y desarrollar criterios de detección de daños mediante un analizador de imágenes. se lograron los mejores resultados en el rango del NIR.

➤ Aplicaciones a la medida de la calidad interna

Otra línea de trabajo en la espectroscopia es el análisis de compuestos en diversos productos, principalmente en el rango NIR mediante reflectancia. El infrarrojo ha sido utilizado, en los últimos años en multitud de aplicaciones, para estimar ciertas características de los distintos materiales, para detectar y cuantificar la presencia de determinadas sustancias, aprovechando la modificación de la radiación por el proceso de absorción.

En todos estos estudios el procedimiento de trabajo es semejante: se realiza el análisis químico del material, según los procedimientos convencionales. A partir de los datos espectrales se elabora una ecuación de calibración, empleando técnicas de modelización como las regresiones lineales multivariantes o los mínimos cuadrados parciales. Posteriormente se

realiza la predicción de la composición de nuevas muestras, para la validación del modelo creado.

La predicción del contenido de azúcares y otros compuestos relacionados con el sabor es una de las aplicaciones más importantes. En muchos de los trabajos se utiliza la fibra óptica directamente sobre el objeto, o lo más cerca posible de su superficie, para aplicar y recoger la luz reflejada de forma difusa.

Los estudios de (Barreiro et al, 1996), consiguen establecer un modelo de estimación del contenido interno de azúcar en tomate con buenos resultados, utilizando un espectrofotómetro en el rango 800-1200 nm y distintas variedades de tomate.

Los estudios de espectroscopia están siendo en los últimos años utilizados para la predicción de la calidad de los productos agroalimentarios, entendida como concepto más amplio que el simple contenido de azúcar. El problema surge por el hecho de que la calidad global así considerada depende de numerosos factores como composición química, color, textura, características organolépticas, etc. Debido al gran número de atributos responsables de la calidad y a la gran cantidad de variables que se obtienen de los espectros, es necesario un adecuado tratamiento de datos, por lo que las técnicas de análisis multivariantes son eficaces en la creación y selección de modelos de predicción de calidad.

## **CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS**

Para dar cumplimiento a los objetivos de esta investigación se selecciona la variedad de plátano Cavendish Gigante (Johnson). Se tomó este cultivar debido a que esta fruta presenta altos rendimientos en el campo, sobresale por sus atributos físicos y sus cualidades organolépticas (sabor, aroma, textura, olor), además es de las más apreciadas por los consumidores a nivel mundial y en nuestro país gusta mucho por tener altos niveles de azúcares, por lo que se hace necesario determinar los parámetros de calidad de este fruto durante su desarrollo.

Los frutos seleccionados fueron cosechados en la empresa Municipal de Cultivos Varios, municipio Taguasco, provincia Sancti-Spíritus que se dedica fundamentalmente a la producción y comercialización de viandas, hortalizas y granos, representados en la actividad de Cultivos Varios.

Para evaluar los parámetros de calidad del fruto durante su desarrollo y reducir la variación y obtener datos consistentes, fue esencial que todas las mediciones se limitaran a los dedos de la segunda mano de los racimos recién cosechados, maduros fisiológicamente (con frutas verdes-maduras). Sin embargo, al no haber muestras suficientes, se incluyó frutas de la tercera mano del racimo. Las muestras se subdividen en grupos de 10 y se monitorean en los días 1, 3, 6 y 9 posterior a la cosecha. Un subgrupo de la muestra se toma como control durante 9 días, permitiéndonos comparar los cambios que ocurren entre estos frutos y los frutos que se le infringieron los daños mecánicos por impacto a diferentes alturas y sobre diferentes superficies.

Estas investigaciones se realizaron en el laboratorio de Bromatología, en el Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP) y en el Laboratorio de Microbiología Agrícola de nuestra facultad.

### **2.1. Metodología empleada para determinar el tamaño de la muestra**

Para el cálculo de la muestra se realizó un pre-experimento con un total de 15 frutos tomados al azar, cosechados con una madurez técnica (verde maduro). El tamaño de la muestra se calculó utilizando el criterio de Student referenciado en la ecuación 2.1 por Carballo y Prado (1980):

$$n = (t^2 \times T^2) / \Delta^2 \text{ ec.2.1.}$$

Dónde:

n- tamaño de la muestra;

t<sup>2</sup>- criterio de Student;

T<sup>2</sup>- desviación media cuadrática;

Δ<sup>2</sup>- error de la media.

El tamaño de la muestra se calculará para un error de la media menor de 5% y en un nivel de significación de 0,10

## **2.2. Metodología para la determinación de las principales propiedades físicas en bananos**

Estos análisis se desarrollaron en el laboratorio de Bromatología, en el Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP) de nuestra facultad.

Según (Dadzie *et al*, 1997; Martínez, 2012), la metodología para la determinación de las características de los bananos se muestra a continuación:

### ➤ **Determinación de la longitud de la fruta**

Se determina midiendo la curvatura exterior del dedo individual con una cinta métrica desde el extremo distal hasta el extremo proximal (Fig 2.1), donde se considera que termina la pulpa.



Fig 2.1. Medición de la longitud de la fruta. Fuente: Archivo del autor.

➤ **Determinación de la circunferencia de la fruta**

La circunferencia del dedo es determinado midiendo la fruta individual con una cinta métrica en su punto más ancho (Fig 2.2).



Fig 2.2. Medición de la circunferencia de la fruta. Fuente: Archivo del autor.

➤ **Determinación del grosor de la cáscara y de la pulpa**

Después de cortarla transversalmente en el punto central, la fruta se pela y se mide la cáscara y la pulpa por separado con un pie de rey (Fig 2.3). La sensibilidad (precisión) del instrumento es de 0,01 mm.



Fig 2.3. Medición del grosor de la cáscara y la pulpa del fruto. Fuente: Archivo del autor.

➤ **Determinación del diámetro y profundidad del impacto**

Para la medición del impacto y la profundidad del mismo se hará un corte transversal en el punto medio del impacto y se realizara la medición utilizando una regla graduada transparente y un pie de rey (Fig 2. 4).



Fig 2.4. Medición de la profundidad del impacto. Fuente: Archivo del autor.

#### ➤ **Determinación de la relación pulpa/cáscara**

Se separan la pulpa y la cáscara, se pesan individualmente (Fig 2.5) y se expresan como una relación pulpa/cáscara (es decir, el peso de la pulpa dividido entre el peso de la cáscara), para esto se utiliza una balanza analítica Denver, modelo SI-234, con precisión de 0,0001 g.



Fig 2.5. Peso de la pulpa y la cáscara del fruto. Fuente: Archivo del autor.

#### ➤ **Determinación del peso de la fruta (g)**

El peso de la fruta se determina pesando el dedo individual en una balanza.

### **2.3. Metodología para evaluar el desarrollo de la textura del banano durante los días poscosecha.**

Según (Cardona *et al*, 2005), la textura es un importante característica sensorial para evaluar la calidad del fruto, la cual puede identificarse como firme o blanda, por lo que es una característica compuesta, que es el resultado de una combinación de varios factores, o sea, la relación entre la firmeza y la turgencia, que no es más que la relación entre la distribución como los componentes estructurales de los tejidos y células y el contenido de humedad en la fruta, la cual le atribuye crujencia al producto.

Bajo condiciones normales de almacenamiento y a medida que pasa el proceso de maduración los bananos pasan a través de 3 procesos de transformación de textura:

1. La degradación del almidón para formar azúcares.
2. La degradación de las paredes celulares o reducción en la cohesión de la lamella media, debido a la solubilización de las sustancias pécticas.
3. El movimiento de agua desde la cáscara a la pulpa debido al proceso de ósmosis.

Por lo que, en función de todo esto, evaluaremos el desarrollo de la textura del banano a partir de los días poscosecha y su comportamiento una vez que se les haya infringido daños por impacto a diferentes alturas (0,30 y 0,60 m), permitiéndonos conocer la fecha óptima de mercadeo en el fruto y la susceptibilidad del mismo a los impactos.

### **2.3.1. Metodología para la determinación del contenido de humedad de la cáscara y la pulpa del fruto.**

La evaluación del contenido de humedad de la cáscara y la pulpa es esencial, ya que de acuerdo con (Mejia, 2013), el agua es el mayor componente del fruto confiriéndole fragilidad a los tejidos, las condiciones de almacenamiento ayudan a la pérdida de agua y dicha pérdida acelera la maduración reduciendo el periodo de vida verde del fruto y su calidad de mercado.

De acuerdo con (Dadzie *et al*, 1997; Martínez, 2012), el contenido de humedad de los bananos, bananos de cocción y plátanos son determinados de la siguiente manera:

- 1) Etiquete y pese un contenedor vacío (por ejemplo, un plato de aluminio) en una balanza analítica Denver (Fig 2.6) modelo DI-234, con una precisión de 0,0001 y registre el peso (A);



Fig 2.6. Balanza analítica para la determinación del peso. Fuente: Archivo del autor.

- 2) Coloque aproximadamente 30-50 g de muestras de cáscara o de pulpa frescas y molidas en el contenedor y registre el peso (B);
- 3) Coloque las muestras en un horno de aire circulante a 100°C durante un día (24 horas);
- 4) Transfiera las muestras del horno a un aparato para disecar y refresque a temperatura ambiente.
- 5) Pese las muestras nuevamente después del secado (C).

El porcentaje del contenido de humedad y materia seca de la muestra es calculado por las siguientes expresiones:

$$\text{Peso fresco de la muestra (D)} = B - A \text{ ec.2.2}$$

$$\text{Peso de la muestra seca (E)} = C - A \text{ ec.2.3}$$

$$\% \text{ del contenido de humedad} = (D - E) / D \times 100 \text{ ec.2.4}$$

$$\% \text{ del contenido de materia seca} = 100 - (\% \text{ del contenido de humedad}). \text{ ec.2.5}$$

### **2.3.2. Metodología para determinar la estructura microscópica del tejido del banano**

Para evaluar el desarrollo de la estructura del fruto poscosecha, se le realizaron impactos al fruto a diferentes alturas de (0.30 m y 0.60 m) sobre una superficie de acero y se evaluaron en función de los días poscosecha, lo mismo se hace con una muestra que no haya sido influenciado por los daños por impacto, comparando los resultados obtenidos, este ensayo tiene como objetivo, conocer la incidencia de los daños por impacto en los tejidos y células que conforman el fruto.

Para el desarrollo de esta prueba se coloca aproximadamente de 30-50 g de pulpa de la fruta en un contenedor vacío y mediante el estereoscopio NOVEL (Fig 2.7) se observarán imágenes que demuestren la magnitud de los daños provocados en los tejidos del fruto impactado y sin impactar en dependencia de los días poscosecha.



Fig 2.7. Muestras impactadas y sin impactar analizadas en el Estereoscopio Novel.

Fuente: Archivo del autor.

#### **2.4. Metodología para determinar los daños mecánicos**

Según (Dadzie *et al*, 1997; Martínez, 2012), la determinación de la susceptibilidad a los daños por impacto de los frutos investigados se determinará siguiendo los siguientes protocolos:

Empleando un instrumento manual, el cual porta una escala graduada desde el suelo hasta su máxima altura (1,20 m), variando en 0,15 m, se deja caer en caída libre los frutos seleccionados sobre una superficie de acero. Para esta evaluación se utilizó la propia masa de los frutos impactados, siendo estas masas muy similares a 200 g, ya que se obtuvieron de las segundas manos de cada racimo.

Esta prueba se realizará a dos alturas diferentes (0.30 m y 0.60 m), ya que en trabajo anterior (Bermudez, 2015), obtuvo que los mayores resultados alcanzados referidos a la susceptibilidad del fruto a los impactos fueron obtenidos en esta superficie (acero), siendo comparada con superficie de goma y madera pero en alturas distintas (0.90 m y 1.10 m). Por lo tanto, con las nuevas alturas a evaluar (0.30 m y 0.60 m) se buscaba obtener una frontera mínima (valor de altura), que pudiera ejercer una influencia negativa en la piel y pulpa de los frutos objeto de investigación.

El protocolo plantea que: después de haber transcurrido 48 horas del impacto, se determina el área impactada, cortándose los frutos por el centro del área impactada y midiendo la profundidad de la magulladura; a partir de aquí con estos parámetros se pasa a determinar: el

volumen de la magulladura, la energía del impacto y la susceptibilidad del fruto impactado a las diferentes energías de impacto evaluadas.

1. Este procedimiento fue realizado nuevamente, pero esta vez se dejó caer en caída libre los frutos seleccionados, sobre otros frutos, manteniendo firmemente una almohadilla de poli espuma durante el golpe para minimizar un daño adicional al lado opuesto. Esta prueba se realizó a dos alturas diferentes (0.30 m y 0.60 m). Seguidamente, después de haber transcurrido 48 horas del impacto se calculan los mismos parámetros anteriormente mencionados.

Lo antepuesto permitirá determinar si los daños mecánicos ocasionados al fruto durante todo el tiempo de poscosecha pueden ser significativos para afectar su calidad de mercado, además establecerá una frontera que determine la altura mínima a la cual una fruta puede ser susceptible, influyendo de manera directa en las propiedades organolépticas y físicas de la misma.

En la figura 2.8 se muestra el instrumento que se utilizó para provocar los daños por impacto producidos a los frutos evaluados.



Fig 2.8. Instrumentos utilizados para la caída libre. a) Instrumento manual con almohadilla de poli espuma; b) Instrumento manual. Fuente: Archivo del autor.

A continuación se presenta expresiones matemáticas que permiten determinar, la susceptibilidad del fruto a daños mecánicos por impactos:

➤ Área de la magulladura:

$$A = \pi * (d/2)^2 \text{ ec. 2.7}$$

Dónde:

A – área de la magulladura (m<sup>2</sup>);

d – diámetro de la magulladura (m).

- Volumen de la magulladura:

$$V = A * r/2 \text{ ec.2.8}$$

Dónde:

V – volumen de la magulladura (m<sup>3</sup>);

r – profundidad de la magulladura (m);

- Energía del impacto:

$$E = m * g * h \text{ ec.2.9}$$

Dónde:

E – energía del impacto (J);

m – masa del peso que impacta (Kg);

g – constante gravitacional (m/s<sup>2</sup>);

h – altura de caída del peso (m).

- Susceptibilidad del producto a los impactos:

$$S = V / E \text{ ec. 2.10}$$

Dónde:

S – susceptibilidad a daños mecánicos por impactos (Martínez y Bermudez, 2016).

## **2.5. Metodología para la determinación de los espectros de reflectancia**

Para el análisis de las muestras evaluadas se utilizará un espectrofotómetro de red de diodos (corona plus distancia VIS/NIR Zeiss, Jena, Alemania) y un cabezal de medición OMK500-H conectado a un haz de fibra óptica. El cual se muestra en la figura 2.9.

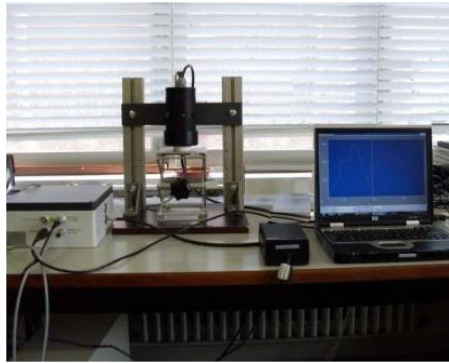


Fig 2.9. Espectrofotómetro de red de diodos; a la izquierda se encuentra la corona plus distancia VIS/ NIR Z, Alemania y en el centro está el cabezal de medición conectado a un haz de fibra óptica OMK500-H y a la derecha la PC. Fuente: (Chacón - Iznaga, 2014).

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

Las especificaciones del OMK 500-H-NIR cabezal de la medición se resumen en la tabla 2.1. 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  $0^\circ$  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  $45^\circ$ .

Tabla 2.1. Datos técnicos del cabezal de la medición OMK 500-H-NIR.

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

Las fibras se encuentran agrupadas por una guía de luz que está conectado al espectrofotómetro. Además la conexión de guía de luz para el canal de medición se encuentra en la parte frontal del instrumento. El ordenador (PC) está conectado al espectrofotómetro a través de un Ethernet interfaz. La configuración mínima se determina por el software utilizado (Aspect-plus suministrada por Carl Zeiss Jena). No hay operaciones en que se requiera de otro dispositivo, ya que el control se maneja a través del software, en la PC. Varios paquetes de software están disponibles para este sistema de medición. El VIS/NIR de reflectancia espectral fue adquirido para todas las muestras tomadas. Todos los espectros se obtuvieron utilizando los mismos ajustes del instrumento: medida en el modo de reflexión, longitud de onda 380-1702 nm. Los tiempos de integración fueron: para el VIS (143,5 ms) y para los NIR (200 ms).

Para la determinación de los espectros de reflectancia en las muestras objeto de evaluación a diferentes alturas, se tomaron muestras impactadas y sin impactar (aproximadamente 200 g), fueron colocadas en placa Petri de 10 mm de profundidad y 35 mm de diámetro. Cada placa de Petri con la muestra se coloca debajo del sensor en el centro del punto de coordinación. Luego se tomaron tres espectros de reflectancia sobre la zona central de la placa Petri, a una rotación de la muestra de aproximadamente 120°. Los tres espectros de cada muestra se promediaron para obtener un espectro promedio por muestra.

Para la determinación de los espectros en cada fruto se tomaron muestras de bananos no impactados e impactados sobre superficie de acero en alturas de (0.30 y 0.60 m), debido a que estas muestras arrojaron valores de susceptibilidad más altos que los proyectados por los frutos impactados sobre ellos mismos, con un número de muestras de 20 y el número de espectros igual a 60.

## **2.6. Metodología para el procesamiento y análisis estadístico de los datos**

Los datos obtenidos de las lecturas de cada una de las variables establecidas fueron tabulados mediante el tabulador electrónico Microsoft Excel. Para el procesamiento de datos se utilizó el paquete estadístico computacional para Windows STATGRAPHICS Plus ver-5.1. Se aplicaron procedimientos de comparaciones no paramétricas para determinar las diferencias estadísticas entre los diferentes grupos de estudio, para las cuales se tuvo en cuenta el nivel de significancia  $\alpha=0.05$ . También se correlacionaron las variables con el objetivo de analizar el grado de dependencia de cada una de las variables y su significancia.

## CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1. Resultados obtenidos relacionados con el tamaño muestral

Al darle cumplimiento a la ecuación 2.1 (Carballo y Prado 1980), se determinó que el tamaño de la muestra para las pruebas de impacto serían de 10 frutos, mientras que para la determinación de las propiedades físicas y mecánicas el tamaño muestral sería de 3.

### 3.2. Resultados obtenidos relacionados con las principales propiedades físicas.

La tabla 3.1 muestra las variables longitud, circunferencia, grosor de la cáscara, grosor de la pulpa, peso del fruto y la relación pulpa/cáscara de las muestras analizadas, las cuales no tuvieron diferencias significativas, comportándose según los estándares para este cultivar, coincidiendo con otras investigaciones realizadas, referenciadas por (Arrieta *et al*, 2006; Kader, 2014).

Tabla 3.1. Propiedades físicas de los bananos. Fuente: Elaboración propia.

Parámetro evaluado	Valor mínimo	Valor máximo	Valor medio
Longitud (mm)	190	227	208.5
Circunferencia (mm)	100	125	112.5
Grosor de la cáscara (mm)	2	3	2.5
Grosor de la pulpa (mm)	31	37	28.5
Peso del fruto	190	215	200
Relación pulpa/cáscara	1.2	2.5	1.85

Los bananos investigados presentaron su floración en la segunda semana de noviembre del 2017 y el momento óptimo para la cosecha de los mismos, se presentó en la cuarta semana de abril del 2018 (22 semanas).

La madurez de la fruta está usualmente relacionada con la circunferencia y longitud de los dedos, por lo tanto, se puede realizar una estimación de la madurez del racimo. Se puede apreciar que durante la maduración, las frutas muestran aumentos en varias de sus características, como la circunferencia, longitud, grosor de la cáscara y de la pulpa y la proporción entre la pulpa y la cáscara. Estos cambios ocurren simultáneamente con otros cambios visuales en la fruta, como el tamaño, forma, volumen, color de la cáscara y el extremo estilar. Generalmente, los cambios en las características de la fruta durante la maduración dependen del cultivar.

### 3.3. Resultados obtenidos en la evaluación del desarrollo de la textura del banano durante los días poscosecha.

#### 3.3.1 Análisis de los resultados relacionados con la humedad de la cáscara y la pulpa en el fruto.

La variación de la humedad en los frutos depende en gran medida de los procesos de transpiración, de procesos difusivos y osmóticos. En la figura 3.1 se presentan los resultados de las pruebas realizadas.

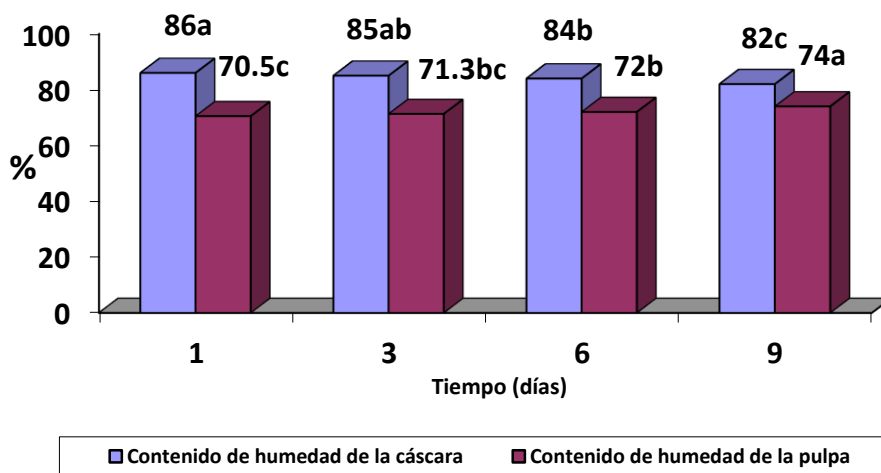


Fig 3.1. Contenido de humedad de la cáscara y la pulpa del fruto. Fuente: Elaboración propia.

Media general (contenido de humedad de la cáscara): 84.25; Desviación estándar: 1.707; p-valor: 0.02

Media general (contenido de humedad en la pulpa): 71.95; Desviación estándar: 1.497; p-valor: 0.010.

En los resultados estadísticos dados respecto al contenido de humedad se pudo observar que las muestras mantienen sus propiedades similares a los días 1, 3 y 6 días poscosecha, según se observa en la figura 3.1. En tanto, al cabo de transcurridos 9 días poscosecha, se presentan los resultados más bajos del porcentaje de humedad de la cáscara con diferencias significativas. Similar comportamiento se muestra para la humedad en la pulpa pero en sentido inverso, es decir, las muestras que presentaron mayor contenido de humedad en la cáscara mostraron menor contenido de humedad en la pulpa, mostrando diferencia significativa. A medida que va madurando el banano se ve más afectado por las variables ambientales que inciden directamente en el proceso de deterioro del producto, por lo que este fruto alcanza su etapa óptima de madurez hasta los 6 días poscosecha. Este parámetro se comportó de acuerdo a lo reportado por (Dadzie *et al*, 1997; Martínez, 2012), los cuales plantean que la alta tasa de respiración se incrementa a medida que madura el fruto, el contenido de humedad de la cáscara disminuye, mientras que el de la pulpa aumenta, debido a que la cáscara pierde agua liberándola tanto a la atmósfera, como a la pulpa.

### **3.3.2. Análisis de los resultados obtenidos del estudio microscópico a la estructura del banano**

Los resultados obtenidos de esta variable indican que las frutas como estructuras vivas que se hallan unidas a la planta y continúan estándolo después de la recolección (Villamizar, 2001), cómo seres vivos respiran, transpiran y liberan etileno considerada la hormona de la maduración (Cara *et al*, 2008), por lo que se pudo apreciar que el desarrollo del fruto en función del tiempo es vital, ya que permite conocer el tiempo de vida de mercado del fruto (vida de anaquel) y la calidad con que se ofrezca este producto, ya sea para interés del productor como del comerciante, máxime a partir de haber sufrido daños por impacto no deseados.

El principal producto de la transformación primaria de las frutas es la pulpa, por lo que en la figura 3.2 se presentan imágenes del tejido de las muestras impactas y su evolución en el tiempo a una altura igual a 0.30 m. Las imágenes están señalizadas con las letras A...E.

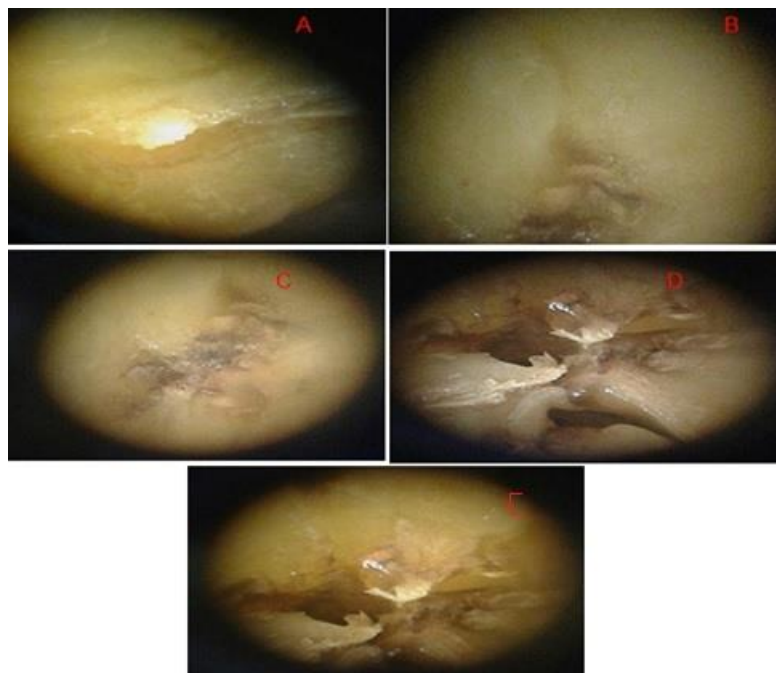


Fig 3.2. Evolución del daño en la pulpa en los días poscosecha; A: 1 día; B: 3 días; C: 6 días; D: 9 días E: 9 días (Control). Fuente: Elaboración propia.

En la figura 3.3 se muestra el desarrollo de la pulpa después de haberseles provocado el impacto a una altura igual de 0.60 m y su evolución en el tiempo, donde se puede apreciar que a mayor altura los daños son más visibles en el fruto, siendo esto proporcional con un menor tiempo de vida del mismo en el mercado.

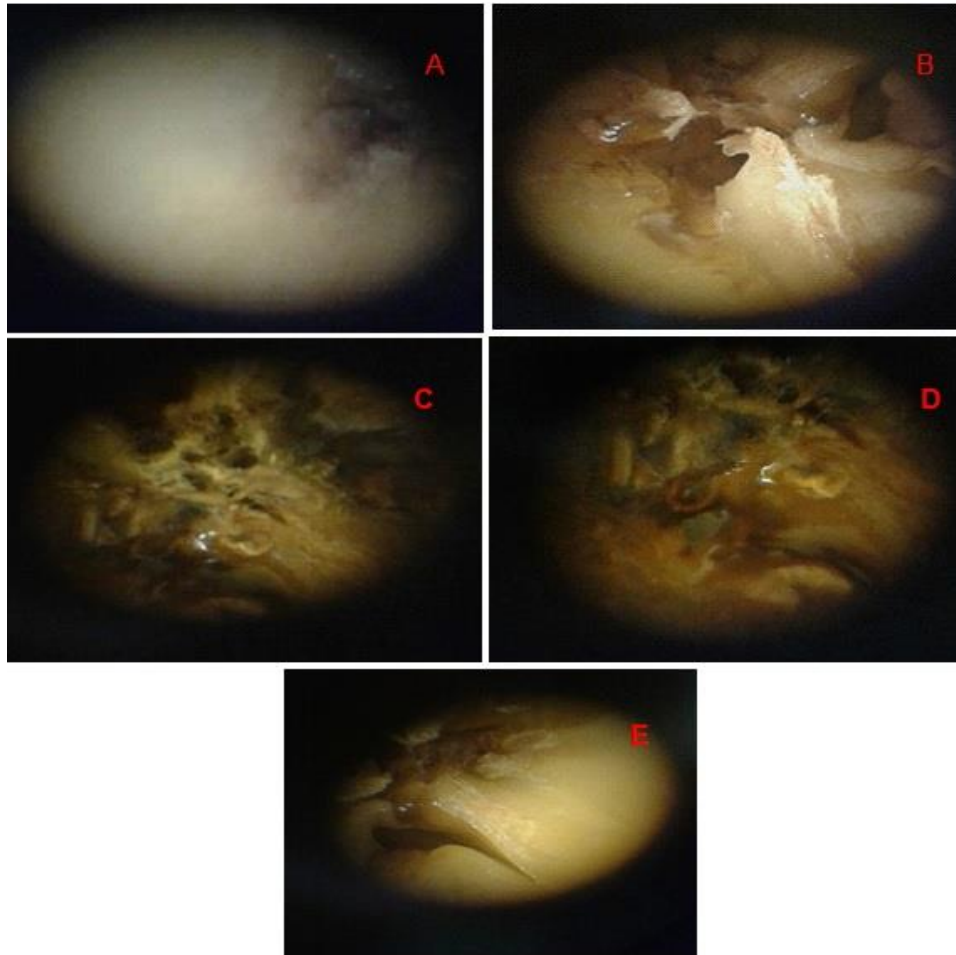


Fig 3.3.Desarrollo de la pulpa en los días poscosecha; A: 1 día; B: 3 días; C: 6 días; D: 9 días; E: 9 días (Control). Fuente: Elaboración propia.

A partir de los resultados obtenidos de estas evaluaciones y de acuerdo con (Bermudez, 2015), se pudo establecer que el fruto del banano alcanza su estado óptimo de madurez a temperatura ambiente a los 6 días poscosecha, no siendo así cuando se ejerce en él un impacto a una altura no menor de 0.30 m, donde el daño en el fruto es proporcional con la altura del impacto, además a medida que ocurre el proceso de maduración la fruta se torna más blanda, esto se debe a que esta característica en los frutos depende del efecto de las enzimas sobre la pectina y el almidón, durante este proceso la protopéctina es degradada a fracciones de peso molecular más bajo y más solubles en agua, lo que ocasiona el ablandamiento de la fruta. Este ablandamiento de los tejidos de plátano es debido a los cambios que ocurren en la pared celular compuesta por carbohidratos de cadena larga divididos en sustancias pécticas (protopéctina), hemicelulosas y celulosas. En estas cadenas,

el calcio es componente importante de las uniones entre los grupos carboxílicos, reforzando los componentes estructurales de la célula; la ruptura de estas uniones es uno de los factores que inciden en la maduración y ablandamiento de los frutos. Otro factor lo constituye el movimiento de agua desde la cáscara hacia la pulpa del fruto debido al proceso de ósmosis como afirma (Azcón *et al*, 2008), todo esto conlleva a que disminuya el tiempo de vida del fruto en el mercado, debido que a partir del tercer día poscosecha de haber ocurrido el daño por impacto empieza a notarse físicamente los daños irreversibles en la pulpa del banano (tejidos y células).

### **3.4. Análisis de los resultados de los daños mecánicos a diferentes alturas y superficies.**

En los resultados obtenidos en estas variables, se presentan los valores que se aprecian en la tabla 3.2, donde se muestra el comportamiento de los daños por impacto realizados sobre una superficie de acero a diferentes alturas (0.30 m y 0.60 m), con energías de impacto que oscilan entre 600 (J) hasta 1276 (J).

Tabla 3.2. Resultados del comportamiento del banano sobre una superficie de acero. Fuente:  
Elaboración propia.

<b>Altura (m)</b>	<b>Energía Impacto (J)</b>	<b>Susceptibilidad</b>	<b>Área de la magulladura (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Volumen de la magulladura (cm<sup>3</sup>)</b>
0.60	1276	0.0090	14.01	15.52
0.30	600	0.0035	5.40	7.6
Media general	858.5	0.0065	9.705	11.56
Desviación estándar	365.574	0.0042	6.08819	53600
p-valor	0.000040	0.03	0.00099	0.00015

Aquí se evidencian las diferencias estadísticas entre los promedios de todas las variables analizadas obteniéndose los mayores valores para la muestra con altura de 0.60 m. Este resultado induce que las diferencias de altura de impacto influyen de manera considerable en las propiedades poscosecha del fruto, a pesar de realizarse a pequeñas alturas, estas afectan la calidad de mercado del fruto, además brinda información sobre el potencial de susceptibilidad que tiene este cultivar en su manipulación y almacenamiento, una cualidad imprescindible para el diseño del empaque y del material de empaque para este producto.

En la figura 3.4 se aprecian los detalles macroscópicos de los frutos evaluados que fueron impactados sobre superficie de acero a diferentes alturas (diferentes energías de impacto).



E= 600 (J)

b) E= 1276 (J)

Fig 3.4. Detalles de los frutos impactados una altura de (0,30 y 0,60 m). Fuente: Archivo del autor.

En la tabla 3.3, se refleja el comportamiento de los frutos seleccionados en caída libre sobre otros frutos a diferentes alturas (0.30 m y 0.60 m). Para esta última evaluación se utilizó la propia masa de los frutos impactados, siendo estas masas muy similares, ya que se obtuvieron de las segundas manos de cada racimo, con unas energías de impacto que varían entre 615 (J) y 1234 (J).

Tabla 3.3. Resultados del comportamiento del banano en caída libre sobre otro banano. Fuente: Elaboración propia.

<b>Altura (m)</b>	<b>Energía Impacto(J)</b>	<b>Susceptibilidad</b>	<b>Área de la magulladura (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Volumen de la magulladura (cm<sup>3</sup>)</b>
0.60	1234	0.0079	11.42	11.50
0.30	615	0.0028	4.80	5.3
Media general	924.5	0.0053	8.11	8.4
Desviación estándar	437.699	0,0038	4.681	4.384
p-valor	0.000091	0.02	0.00061	0,00029

En los resultados alcanzados en las diferentes energías de impacto valoradas se pudo apreciar que existen diferencias significativas entre las muestras impactadas en dependencia de su altura, donde se pudo observar que el valor más alto ocurrió a la altitud igual a 0.60 m, al igual que en todas las variable evaluadas, semejante al caso anterior. Lo que permite afirmar que a partir de estos valores (altura mínima), los frutos pueden sufrir un daño irreversible, suministrando información sobre el manejo y cuidado a tener desde su cosecha en el campo hasta su venta en los mercados estatales y privados, debido a la susceptibilidad que presenta el fruto a los daños mecánicos por impacto.

En la figura 3.5, se pueden observar los detalles de los frutos evaluados, los cuales fueron impactados contra bananos de su misma variedad a diferentes alturas y con diferentes energías de impacto.

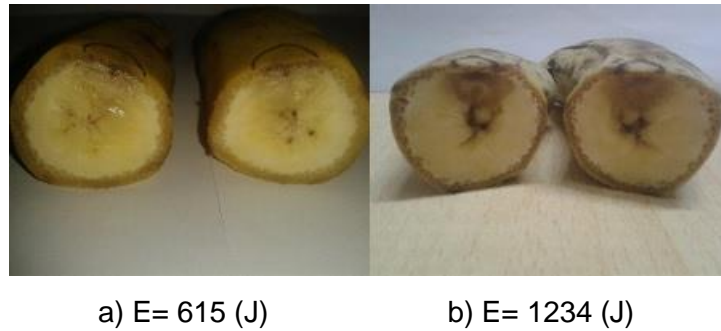


Fig 3.5. Detalles de los frutos impactados a una altura de (0,30 y 0,60 m). Fuente: Archivo del autor.

Con la evaluación de la susceptibilidad del banano a daños mecánicos por impacto pudimos observar como este indicador aumenta a medida que aumenta la altura del impacto y en dependencia de la superficie de caída, suministrándonos información sobre el mínimo permisible de manipulación que acepta el cultivar durante todo el proceso de poscosecha y su tiempo de almacenamiento, además es importante para conocer el material de empaque del fruto en la cadena de mercadeo, a la hora de su transporte y también es esencial en la determinación de la fuerza de la textura de la fruta.

En la siguiente figura 3.6 se presentan los valores de susceptibilidad dados en los frutos impactados a diferentes alturas evaluadas, en superficie de acero y en caída libre sobre otros frutos.

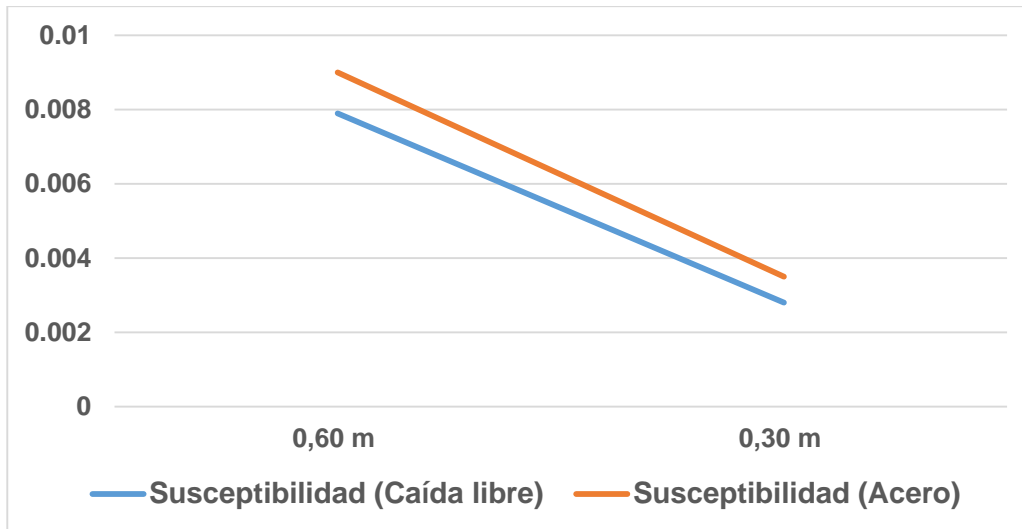


Fig 3.6. Susceptibilidad de los frutos impactados a una altura de (0,30 y 0,60 m). Fuente: Elaboración propia.

Los daños mecánicos provocados al fruto en las alturas evaluadas incidieron directamente en su desarrollo poscosecha, donde se vieron afectadas las siguientes variables:

- Cambios físicos del color y sabor de la fruta.
- Las frutas dañadas se maduraron generalmente más temprano que las frutas sin daños.
- Pérdida de peso de la fruta, con consecuencias obvias de menor calidad de venta y precios más bajos. La pérdida de peso se debe al colapso de las paredes celulares y aumento de la permeabilidad de las células exteriores al vapor de agua.
- Facilitaron la invasión de microorganismos, lo que resulta en una descomposición progresiva que puede afectar la fruta entera.
- Ablandamiento del tejido de la fruta que resulta del colapso de las paredes celulares individuales.

### 3.5. Análisis de los resultados obtenidos en la variabilidad de los espectros de reflectancia VIS/NIR de las muestras de banano según impactos provocados

En las figuras 3.6 y 3.7 se muestra una representación gráfica de los espectros de reflectancia de las muestras de banano impactadas a una altura igual a 0.30 y 0.60 m, donde se observaron varios picos de reflectancia en la región visible (300 – 320 nm), (640 – 650 nm), (830 – 900 nm), (1070 – 1080 nm), (1265 – 1270 nm), y donde se observó en la región (500 -1150 nm)

una banda espectral muy aguda, lo que provoca diferencia entre los espectros de reflectancia analizados para cada muestra, esto se debe a la gran cantidad de carbohidratos (almidones y azúcares) que tiene el cultivar, además esto se comportó de acuerdo a (Nicolai *et al*, 2007), quienes plantean que los picos de reflectancia se deben fundamentalmente a los enlaces O-H, C-H y N-H, ya que los espectros están dominados por el alto contenido de bandas de agua que presenta la fruta, así como por enlaces -OH, fundamentalmente en las longitudes de onda 700 nm y 970 nm.

Según (Dadzie *et al*, 1997; Martínez, 2012), los efectos de los daños mecánicos por impacto provocan que las frutas dañadas se maduran generalmente más temprano que las frutas sin daños. Esto sucede debido a un aumento en la tasa de respiración asociada con el daño mecánico, así como a un aumento en la producción de etileno que apresura la maduración, por lo que el contenido de agua en el fruto aumenta, ayudándolo a llegar a su etapa de senescencia en menos tiempo.

Otro aspecto a destacar es el pico de decrecimiento tan pronunciado en las longitudes de onda entre (370 – 470 nm), esto puede estar influenciado por la presencia de clorofila en la cáscara de la fruta, esto se comportó de acuerdo a lo planteado con (Cho *et al*, 2006).

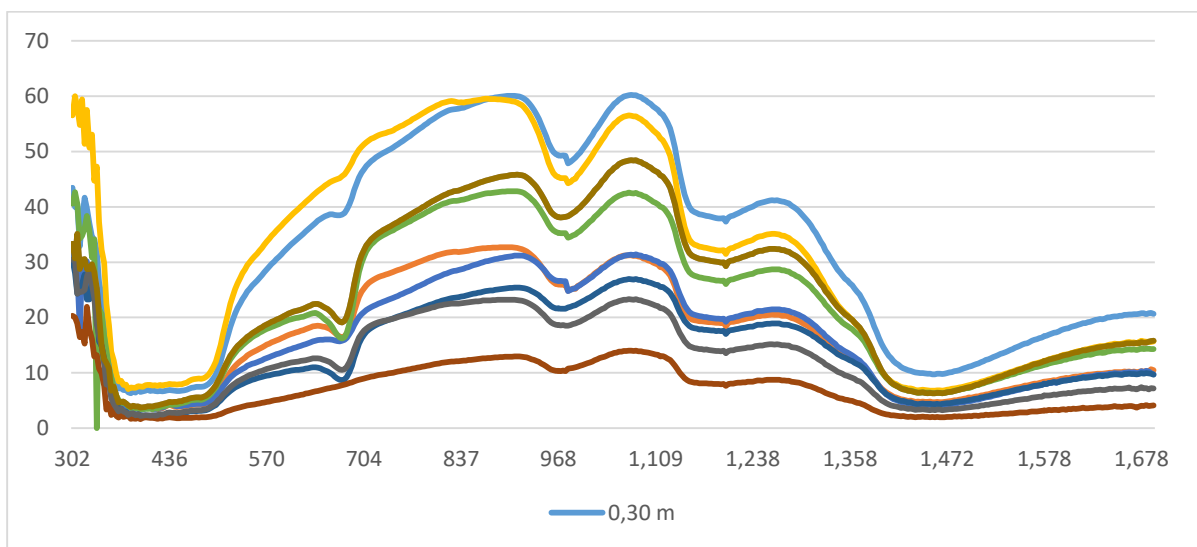


Fig 3.6. Espectros promedios de reflectancia de las muestras de banano en función del rango de longitud de onda en la región VIS/NIR para las muestras analizadas a una altura igual a 0.30 m.

Fuente: Elaboración propia.

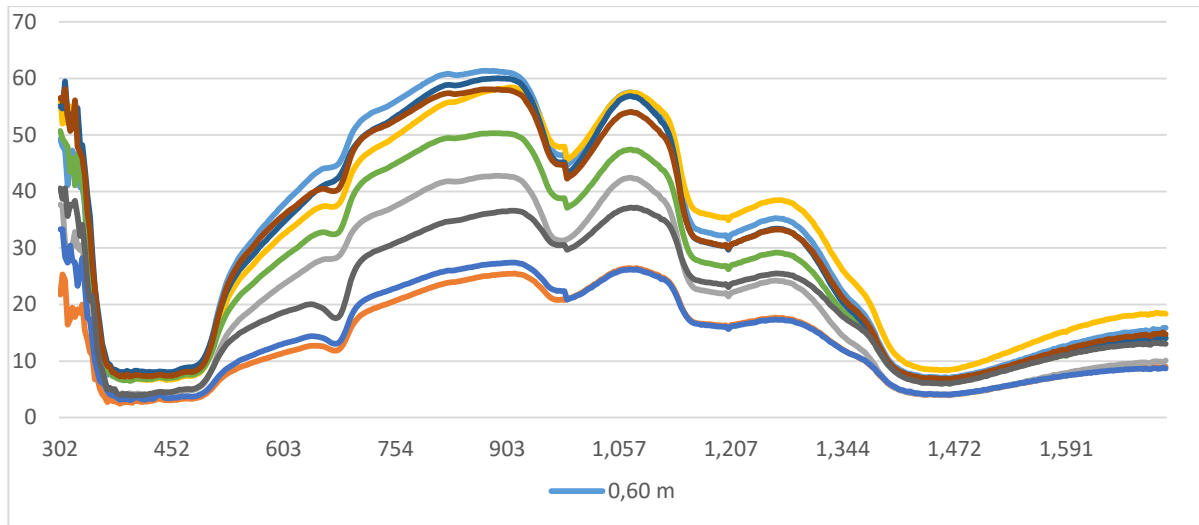


Fig 3.7. Espectros promedios de reflectancia de las muestras de banano en función del rango de longitud de onda en la región VIS/NIR para las muestras analizadas a una altura igual a 0.60 m.

Fuente: Elaboración propia.

En este análisis la curva que mostró los mayores valores de reflectancia corresponde a las muestras analizadas a una altura igual a 0.60 m, esto se debe a que las características de la fruta evaluadas en esta prueba ha sufrido mayores transformaciones en la textura del banano por el impacto ocasionado que los evaluados a menor altura, acelerándose de esta manera, el proceso de maduración y con esto la disminución de la firmeza del fruto y como se planteó anteriormente, el aumento de la presencia de agua en el mismo, por lo que, de acuerdo con (Nicolai *et al*, 2007), el resultado de la radiación NIR está afectada por la microestructura de los tejidos que atraviesa.

Seguidamente, se muestra en la figura 3.8 los espectros de reflectancia para los bananos no impactados, en el que se pudo observar que los valores de longitud de onda alcanzados en los puntos de reflectancia son menores a los analizados en las pruebas anteriores y ocurre una variación entre los (495 – 896 nm), donde hay un crecimiento prolongado hasta llegar a su punto de reflectancia, no siendo así en las muestras evaluadas con daño mecánico para las alturas de (0.30 y 0.60 m), esto se debe a el grado de madurez del fruto, debido a que todavía no ha alcanzado su estado óptimo de maduración, ni ha llegado a la senescencia, por lo que su contenido de agua en al fruto es menor mostrando un efecto inverso al producido en los frutos impactados.

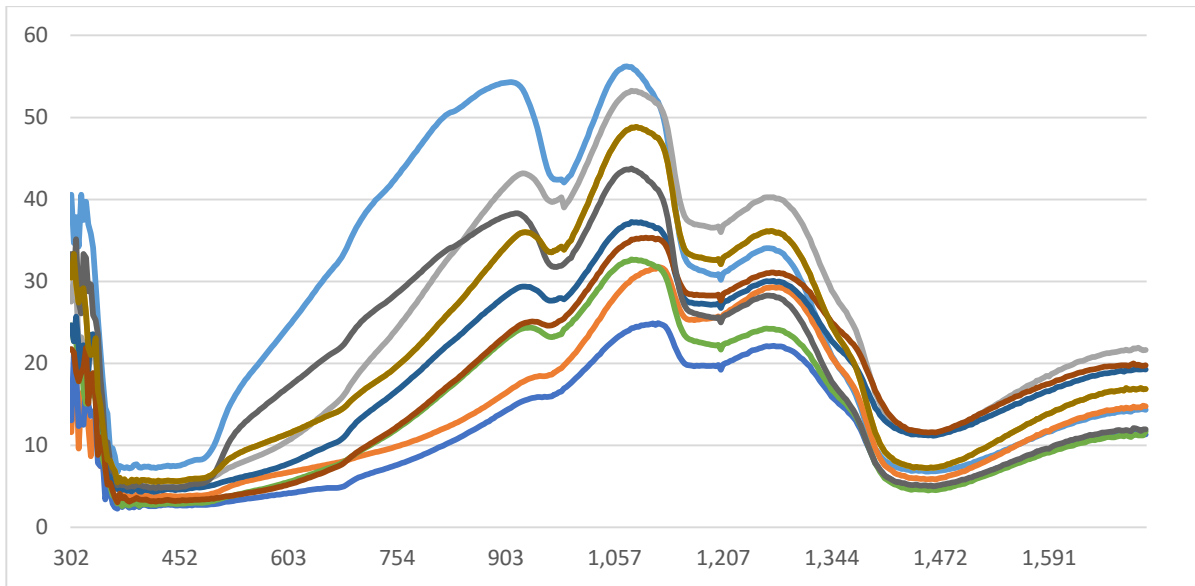


Fig 3.8. Espectros promedios de reflectancia de las muestras de banano en función del rango de longitud de onda en la región VIS/NIR para las muestras analizadas sin impactos. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 3.9 se muestran los espectros de reflectancia promedios de las muestras de banano analizadas anteriormente en función de los daños por impacto a diferentes alturas y en la muestra analizada sin impactar, donde se pudo observar que los mayores valores de longitud de onda se presentaron en los frutos impactados a una altura igual a 0,60 m, donde se presentaron también los mayores daños en los frutos, mostrando una diferencia respecto a la muestra analizada sin impactar, demostrando la susceptibilidad del fruto ante daños mecánicos y cómo afecta esto el tiempo y la calidad de vida en el mercado del mismo. Este parámetro se comportó de acuerdo a lo reportado por (Workman, 2004), el cual plantea que el espectro NIRS es único para cada muestra y está basado en los valores de absorbancia a las diferentes longitudes de onda en el rango espectral considerado, siendo los cambios en la respuesta del espectro NIR proporcionales a los cambios en la concentración de componentes químicos, o en las características físicas de la muestra analizadas.

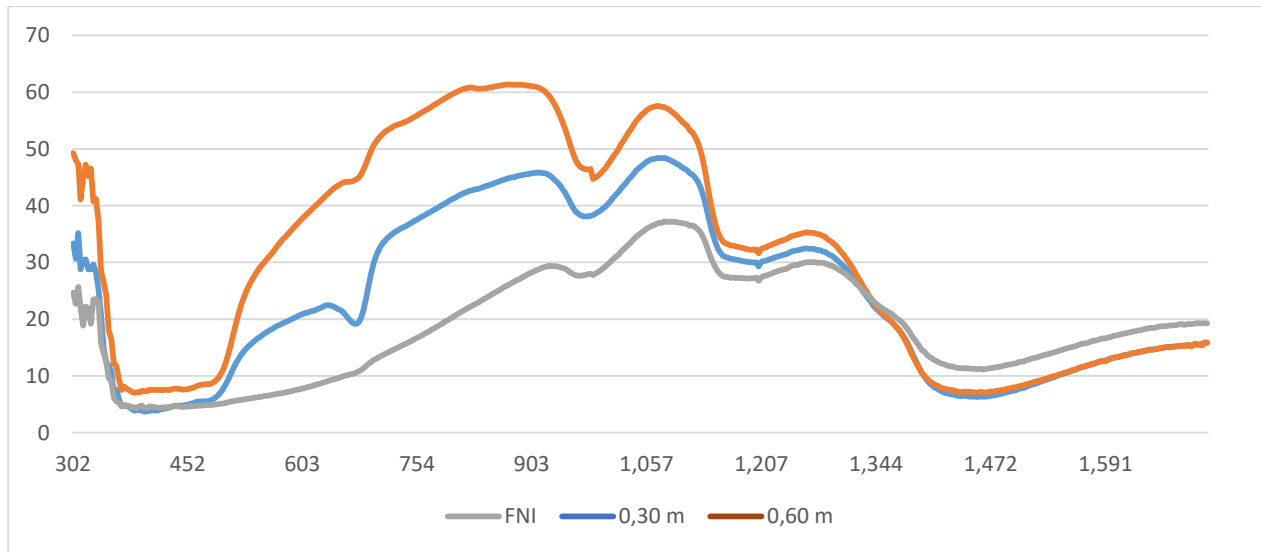


Fig 3.9. Espectros de reflectancia de las muestras de banano en función del rango de longitud de onda en la región VIS/NIR para todas las muestras de banano analizadas. Fuente: Elaboración propia.

Nota: la curva definida como FNI, significa frutos no impactados.

### 3.5.1 Alcances y Limitaciones del uso de la espectroscopia VIS-NIR.

Actualmente, la espectroscopia se conoce como la técnica de análisis rápidos del futuro, donde la utilización de la tecnología NIR a medidas no destructivas de la calidad de frutas está en desarrollo (Groenewald *et al*, 2006), ya que se trata de una técnica que no destruye ni contamina y tiene además, potencialidades para ser automatizada y llegar a ser un instrumento de uso habitual y necesario para la clasificación de frutos según su calidad interna o externa. También puede llegar a ser de gran interés la utilización directa por parte del consumidor de espectrómetros en las superficies comerciales para basar la decisión de compra. Según (José *et al*, 2009), su velocidad de respuesta, diversidad de aplicaciones y precisión en sus resultados hacen de la espectroscopia una alternativa superior para análisis de calidad en frutas, no solo a escala internacional sino también a escala nacional.

En las frutas, la tecnología NIRS ha sido empleada para 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, como recogen los distintos trabajos de revisión publicados (Nicolai *et al*, 2007; Saranwong *et al*, 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, etc., (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).

La espectroscopia NIRS ofrece enormes expectativas en el terreno, las innumerables pérdidas que se producen durante todo el proceso de poscosecha del banano disminuirían de manera considerable si tuviéramos la oportunidad de incorporar a nivel de la línea de producción (ej. cadenas de envasado) esta técnica, permitiéndonos estudiar simultáneamente diversos indicadores específicos de calidad del cultivar, estableciendo un esquema para cada proceso por el cual transita el mismo hasta llegar a las manos del consumidor, donde, a través de su utilización se analice en tiempo real el desarrollo de las propiedades del fruto y permita obtener las mayores incidencias que afectan su posterior calidad de mercado.

### **Limitaciones**

Los instrumentos disponibles para estas aplicaciones son escasos y tienen un costo de adquisición un poco altos, además no contamos con suficiente personal calificado para el desarrollo de este trabajo. Su veracidad está determinada normalmente por la comparación de resultados de los análisis químicos tradicionales. Sin embargo, la mayoría de los factores que afectan la exactitud de los resultados NIR afectan también los resultados de los análisis químicos tradicionales. Por lo tanto, un estudio cuidadoso de todos los factores que afectan los resultados analíticos certeros y confiables de las muestras, es esencial para asegurar que se usen valores realistas para calibrar y comparar resultados, y para garantizar que el usuario comprenda el valor genuino de los resultados que recibe.

## **CONCLUSIONES**

1. El desarrollo de la textura (firmeza/turgencia) del fruto en función de los días poscosecha influyen en su calidad de mercado, ya que se observaron diferencias significativas entre las muestras impactadas y los resultados alcanzados en muestras sin impactar.
2. Las propiedades físicas del fruto se comportaron de acuerdo a los estándares para ese cultivar.
3. En el análisis de los daños mecánicos se demostró que la susceptibilidad del fruto aumenta en dependencia de la altura y la superficie de contacto, existiendo diferencias significativas entre los frutos evaluados a una altura de impacto de 0.60 m y 0.30 m.
4. En los resultados obtenidos se demostró que el fruto del banano es susceptible a los daños mecánicos por impacto desde una altura mínima igual a 0,30 m.
5. De las longitudes de ondas espectrales se observaron los mayores valores de reflectancia para las muestras analizadas a una altura de impacto igual 0.60 m y se identificaron los mínimos valores para las muestras de banano no impactadas.

## **RECOMENDACIONES**

1. Extender el estudio de las propiedades mecánicas a otras variedades de banano para determinar su grado de susceptibilidad.
2. Ampliar el uso de la técnica no destructiva de espectroscopia VIS/NIR para la determinación de parámetros de calidad en otras frutas.
3. Impartir cursos de capacitación a los productores estatales y privados en la temática del manejo poscosecha del banano.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- ARCILA, M. I.: 1998. Aspectos sobre fisiología y manejo poscosecha del plátano en la región cafetera central. Armenia, Quindío, Colombia.
- ARIAS, C. y J. TOLEDO: Manual de manejo poscosecha de frutas tropicales, 2000.
- ARRIETA, A.; U. BAQUERO y J. BARRERA: Caracterización fisicoquímica del proceso de maduración del plátano "Papocho" (Musa Abb Simmonds), Agronomía Colombiana: 2006.
- AZCÓN, B., J. Y M. TALÓN: 2008. Contribución fisiológica de las hojas y del epicarpio del fruto del plátano 'Hartón' (musa aab simmonds) al llenado y calidad del racimo. Córdoba (Colombia).
- BARREIRO, P. y M. RUIZ-ALTISENT: Determinación no destructiva de azúcar en tomate. Fecoam, Informes de la federación de cooperativas de Murcia, 1996.
- BERMUDEZ, T.: 2015. Caracterización de algunas propiedades físico– mecánicas y químicas en el banano (Musa spp.). Trabajo de Diploma ( en opción al título de Ingeniero Agrícola) - Departamento de Ingeniería Agrícola, Universidad Central de Las Villas, Santa Clara, Cuba.
- BROWN, G. K.; L. SEGERLIND y R. SUMMNITT: 1974. Near-Infrared reflectance of bruised apples. transactions of the asae.
- BRUHN, C. M.: Aspectos de calidad y seguridad alimentaria de interés para el consumidor, Ed. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, 3ª edición, Oakland, California, USA, 2007.
- BUITRAGO, V. L; P. CORONADO; L. OSORNO; L. FERNANDO: Determinación de las características y propiedades mecánicas de papa cultivada en Colombia. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental: 102-110p. 2004.
- CARA, B y J. GIOVANNONI: Molecular biology of ethylene during tomato fruit development and maturation: 175: 106-113p, 2008.
- CARBALLO, M y L. PRADO: 1980. Biestadística. Ed. Pueblo y Educación. Ciudad de La Habana.
- CARDONA, V y H. CIRO: Caracterización mecánica y físico-química del banano tipo exportación (CAVENDISH VALERY). Docente Corporación Universitaria Lasallista, Facultad de Ingenierías, programa de Ingeniería Industrial, 2005.

- CASTILLO, S. C.: 2012. La Cuba: algo más que cifras. Periódico Juventud Rebelde Cuba, 28 de marzo.
- CEN, H y Y. HE: 2007. Theory and application of near infrared reflectance spectroscopy in determination of food quality. .
- CODEX STAN 205:1997. Norma del Codex Alimentarius para el banano (plátano). Vig. 2001.
- CORREA, J. L. y. M. RUIZ-ALTISENT: Ensayos no destructivos para la evaluación de la madurez post-recolección de aguacate." Agro-Ciencia: 197-200p, 1995.
- CHACÓN - IZNAGA, A.: 2014. Vis/nir spectroscopic measurement of selected fertility parameters of cuban agricultural soils. Katolic University of Leuven press, Leuven, Belgium, p. 189. ISBN 978-90-8826-391-0.
- CHEN, P.y Z. SUN: A review of non-destructive methods for quality evaluation and sorting of agricultural productos. Journal OF Agricultural Engineering Research 49: 85-98p, 1991.
- CHEN, R; S. TANG y S. ZONG: Instrument for testing the response of fruit to impact. 85-353p, 1985.
- CHO, M A; SKIDMORE, A K.: 2006. A new technique for extracting the red edge position from hyperspectral data: The linear extrapolation method. Remote Sensing of Environment 101: 181-193p.
- DADZIE, B. K. y J. E. ORCHARD: 1997. Evaluación rutinaria poscosecha de híbridos de bananos y plátanos: criterios y métodos. Guías técnica INIBAP (Red internacional para el mejoramiento del banano y el plátano).
- DELWICHE, M.: Theory of fruit firmness sorting by impact forces. Transactions of the ASAE: 1160-1166p, 1987.
- DIEZMA, B; A. MARAÑÓN; M. RUIZ-ALTISENT; L. FLORES; J. DIEZ: Firmeza de la fruta: determinación por métodos no destructivos, 2001.
- ONEI: Anuario Estadístico de Cuba 2009; Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca. Edición 2010.

- FAO: Seguridad Alimentaria 2007.
- : Manual de manejo postcosecha de frutos tropicales 2008.
- : Trade Year Book 2016.
- GAFFNEY, J.: 1973: Reflectance properties of citrus fruits.
- GARCÍA, V. M. Q. V; C. DELGADO; J. MARTÍNEZ: Manual de Almacenamiento y Transporte de Frutas y Hortalizas Frescas en Materia de Inocuidad. México, Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, 2003.
- GARRIDO, A.: 1997. Current and future applications of NIRS technology. 87-92p.
- GARRIDO, A; J. GUERRERO; A. GÓMEZ-CABRERA: 1993. Posibilidades y limitaciones de la aplicación de la técnica NIRS en la evaluación nutricional de alimentos para el ganado.
- GASTÓN, E. L. y E. MAXIMILIANO: Manejo poscosecha del banano, 2006.
- GROENEWALD, T. y H. KOSTER: 2006. Espectroscopia DE Infrarrojo Cercano (Nirs) - La técnica de análisis rápidos del futuro.
- GUERRERO, M.: Guía técnica del cultivo del plátano. Salvador, 2010.
- HAARER, A.: 1965. Producción moderna de bananas. Zaragoza, España, , Ed. Acribia.
- HAN, D.; R. TU; C. LU; C. LIU y Z. WEN: 2006. Nondestructive detection of brown core in the chines pear 'yali' by transmission visible-nir spectroscopy.
- HARKER, F. R.; E. M. KUPFERMAN; A. B. MARIN; F. A. GUNSON y C. M. TRIGGS: 2008. Eating quality standards for apples based on consumer preferences, *Postharvest Biol. Technol.*
- HARRINTONG, H. J.: 1990. El proceso de mejoramiento. Cómo las empresas punteras norteamericanas mejoran la calidad. Wisconsin. USA.
- HERNÁNDEZ, M.: 1973. El plátano, su cultivo, valor alimenticio y consumo. Enfermedades y plagas. Vedado, La Habana, Cuba, Ed. Organismos, Instituto Cubano del Libro.
- Hutton, R.: Potential of NIR technique to measure internal quality of citrus fruit. Queensland. Australia., In NISG Conference. Australian Near Infrared Group, 1998.

- ICBF: Tabla de Composición de Alimentos. Alimento: Banano común (*musa sapientum*), 2005.
- INFOAGRO: El cultivo del plátano, 2018.
- INIVIT: Instructivo Técnico del cultivo del plátano 1985.
- : Instructivo técnico del cultivo del plátano 2004.
- : Instructivo técnico del cultivo del plátano 2007.
- JAREN, C. C.: Efecto de los tratamientos con calcio sobre las propiedades físicas de la manzana. Conf. Int. de Mecanización Agraria. Seminario Int. Sobre Daños por Impacto. Zaragoza, 119-122p, 1990.
- JOSÉ, C.A.; C. WEILAND; C. NUNES Y J. GARCÍA: 2009. Predicción de calidad interna de cítricos por espectroscopía NIR.
- JURAN, M.: Manual de control de la calidad, McGraw-Hill, España, 1990.
- KADER, A. A.: 2007. Factores de seguridad y calidad: definición y evaluación para productos hortofrutícolas frescos. Ed. In Tecnología Poscosecha de Productos Hortofrutícolas. 3ª edición. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, Oakland, California, USA, 315-322p.
- KADER, A. A.: 2014. Recomendaciones para Mantener la Calidad Postcosecha [en línea]. Universidad de California, Agricultura y Recursos Naturales., Disponible en: Email: postharvest@ucdavis.edu. [Consulta: agosto 1 2018].
- KLEYNEN, O. L. V. y M. F. DESTAIN: 2005. Development of a multi-spectral vision system for the detection of defects on apples.
- LOPEZ, J.: Control de calidad de frutas y hortalizas, 2015.
- LÓPEZ, M.: 1995. El plátano. Villa Clara, Cuba.
- LÓPEZ, M. Z.: Apuntes sobre el cultivo del plátano. Conferencia en la Universidad Central de las Villas, 1972.
- MARTENS, H. y T. NAES. Multivariate Calibration. Chichester, UK, 1989.
- MARTÍNEZ, C. M. 1984. Algunos apuntes sobre las necesidades de riego en el cultivo del plátano (*Musa sp*). La Habana, Cuba.
- MARTÍNEZ, C. M. 2012. Fundamentos del manejo y tratamiento postcosecha de productos agrícolas, Ed. Editorial universitaria Félix Varela.

- MARTÍNEZ, C y T. BERMUDEZ. Caracterización de algunas propiedades físico-mecánicas y químicas en el banano (*Musa spp.*). *Revista Centro Agrícola*, 43 (3): 46-55; julio- septiembre, 2016.
- MCCLURE, W. F.: 2003. 204 years of near infrared technology: 1800-2003. *Infrared Spectrosc*, 487-518p.
- MCGLONE, V. A.; P.J. MARTINSEN; C. CLARK y R. B. JORDAN. On-line detection of brown heart in braeburn apples using near infrared transmission measurements. *Postharvest Biol. Techno*, 2005.
- MEHINAGIC, E. R.; R. SYMONEAUX; D. BERTRAND y F. JOURJON. Prediction of the sensory quality of apples by physical measurements. *Postharv. biol. technol*, 2004.
- MEJIA, G., L. A.: 2013. Evaluación del comportamiento físico y químico poscosecha del platano dominico harton (*Musa AAB Simmonds*) cultivado en el municipio de Belalcazar (Caldas). Trabajo de Diploma (en opción al título de Ingeniero Agrónomo). Facultad De Ciencias Santa Fe De Bogotá, Universidad Nacional De Colombia.
- MENÉNDEZ, J. Y. J.:1923. El plátano, cultivo y comercio. Madrid, España.
- MILLER, B. K. y M. DELWICHE: 1991. *Spectral Analysis OF Peach Surface Defects*.
- MONTUSCHI, G.: *Cultivo y manipulación de los plátanos para la exportación*, 1968.
- NC 77-96. NORMA CUBANA: Plátano de Fruta Microjet.
- NICOLAI, B. M. y K. BEULLENS: 2007. Methods to determine solidity and dry matter content of onions (*Allium cepa L.*)
- NORMA TÉCNICA PARA EL CULTIVO DEL PLÁTANO, 1976.
- OSBORNE, B. G.; T. FEARN; P. HINDLE: *Practical NIR Spectroscopy with Applications in Food and Beverage Analysis*, 1993.
- PEGUERO, A. y M. BLANCO-ROMIA: 2010. La espectroscopia NIR en la determinación de propiedades físicas y composición química de intermedios de producción y productos acabados. Trabajo de Diploma ( en opción al título de Ingeniero Químico) Universitat Autònoma de Barcelona.
- PEIRIS, K. H. S.; R. G. LEFFLER; G. G. DULL y S. J. KAYS: 1998. Non destructive determination of soluble solids content of peach by Near Infrared Spectroscopy.

Ed. Northeast Regional Agricultural Engineering Service (NRAES), Ithaca, New York.

PEIRS, A. S. y B. M. NICOLAI: 2005. Effect of natural variability among apples on the accuracy of vis-nir calibration models for optimal harvest date predictions. *Postharvest Biol. Technol.*

RIOFRÍO, J.: Manejo Post Cosecha del Banano y Plátano. Guayaquil, México, 2003.

RODRÍGUEZ, G. L.: 1967. Cultivo de la platanera. Madrid.

ROJAS, K. U. F.: 2009. Determinación no destructiva de parámetros de calidad de frutas y hortalizas mediante espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano. Trabajo de Diploma ( en opción al título de Especialista en Alimentos), Universidad De Córdoba, España.

RUIZ-ALTISENT, M. y P. CHEN: 1982. Use of the first derivative of spectral reflectance to detect mold on tomatoes.

RUIZ ALTISENT, M.: Parámetros del impacto en relación con la magulladura y con las propiedades de los frutos. Conf. Int. de Mecanización Agraria. Seminario Int. Sobre Daños por Impacto, Zaragoza, 1990.

SARANWONG, S. y S. KAWANO: Applications TO AGRICULTURAL AND MARINE PRODUCTS: Fruits AND VEGETABLES. In *Near-Infrared Spectroscopy IN Food Science AND Technology*. Ozaki, Y., McClure, W.F., Christy, A.A. (Eds.), John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, Usa, 2007.

SARANWONG, S.; J. SORNSRIVICHAI y S. KAWANO: Prediction of ripe-stage eating quality of mango fruit from its harvest quality measured nondestructively by nearinfrared spectroscopy. *Postharvest biol. technol.*, 2004.

SERÉGELY, Z.; T. DEÁKB y G. D. BISZTRAYB: Distinguishing MELON GENOTYPES USING Nir SPECTROSCOPY. *Chemometr. Intell. Lab.* 72, 2004.

SHENK, J. S.; J. WORKMAN; D. A. BURNS; E. W. CIURCZAc: 2001. Application of NIR spectroscopy to agricultural products. In *Handbook of Near Infrared Analysis*. Marcel Dekker, Nueva York. (USA), 419-474p.

SIMMONDS, N. W.: Cultivo del Banano. Londres, 1960.

SKOOG, D. A.; F.J. HOLLER y T. A. NIEMAN. Principles OF Instrumental Alalysis. Usa: Haurcourt Brace College Publishing - Saunders College Publishing, 1998.

- THOMPSON, A. K.: Tecnología Post - Cosecha de Frutas y Hortalizas, 1998.
- THYHOLT, K. y T. ISAKSSON: 1997. Near infrared espectroscopy of dry extracts from high moisture food products on solid support-a review. Near Infrared Spectrosc, 179-193p.
- VILLAMIZAR, F. Manejo tecnológico poscosecha de frutas y hortalizas. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2001.
- WIKIPEDIA: Ensayo no destructivo. Consultado en junio, 2017.
- WILLIAMS, P. C. (,2001). " Implementation of Near-Infrared technology. In Near-Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries." 2nd edition.
- WILLIAN, K.: Near- infrared spectroscopy: I. Spectral identification and analytical applications. Sprectochimia Acta, 2nd edition, 1954.
- WORKMAN, J. J.: Undestanding and using the near-infrared spectrum as an analytical method. In Near-Infrared Spectroscopy in Agriculture, 2004.
- YIRAT, M.: Estudio de las propiedades de calidad de la guayaba (*Psidiumguajava* L.), (variedad Enana roja EEA 1-23). San José de las Lajas, La Habana, Cuba, 2009.