

**EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO FISICO y QUIMICO POSCOSECHA  
DEL PLATANO DOMINICO HARTON (MUSA AAB SIMMONDS) CULTIVADO  
EN EL MUNICIPIO DE BELALCAZAR (CALDAS)**

**TESIS DE MAESTRIA  
LUIS FERNANDO MEJIA GUTIERREZ.**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE BOGOTA  
FACULTAD DE CIENCIAS  
SANTAFE DE BOGOTA  
2013**

**EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO FISICO Y QUIMICO POSCOSECHA  
DEL PLATANO DOMINICO HARTON (MUSA AAB SIMMONDS) CULTIVADO  
EN EL MUNICIPIO DE BELALCAZAR (CALDAS)**

**LUIS FERNANDO MEJIA GUTIERREZ.**

**DIRECTOR(A): DRA. GLORIA INÉS GIRALDO GÓMEZ**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE BOGOTA  
FACULTAD DE CIENCIAS  
SANTAFE DE BOGOTA  
2013**



# CONTENIDO

	Pág.
0. INTRODUCCIÓN.....	9
1. OBJETIVOS.....	12
2. REVISION DE LITERATURA... ..	13
2.1 Generalidades del Plátano Dominico Hartón.....	13
2.1.1 Clasificación taxonómica.....	13
2.1.2 Morfología.....	14
2.1.3 Producción de plátano en Colombia.....	15
2.1.4 Precosecha del plátano.....	15
2.1.5 Cosecha del plátano.....	17
2.1.6 Poscosecha del plátano.....	17
2.1.7 Calidad del plátano.....	18
2.2 Aspectos Fisiológicos Poscosecha.....	18
2.2.1 Respiración.....	19
2.2.2 Etileno.....	21
2.2.3 Pérdida fisiológica de peso.....	23
2.2.4 Cambios en la maduración.....	24
2.3. Caracterización Físico-química de las Frutas.....	26
2.3.1 El Color.....	26
2.3.2 Rendimiento en pulpa de las frutas.....	28
2.3.3 Dureza de las frutas.....	29
2.3.4 Acidez y pH.....	29
2.3.5 °Brix.....	30
2.3.6 Almidón.....	30
2.3.7 Humedad.....	31
3. MATERIALES Y METODOS.....	32
3.1 Localización.....	32
3.2 Material Vegetal.....	32
3.3 Diseño Experimental.....	33
3.4 Métodos.....	33

3.4.1 Métodos para la caracterización fisiológica.....	33
3.4.2 Métodos para la caracterización físico-química.....	35
4. RESULTADOS Y DISCUSION.....	36
4.1 Caracterización Fisiológica.....	36
4.1.1 Tasa de respiración.....	36
4.1.2 Producción de etileno.....	37
4.1.3 Pérdida fisiológica de peso.....	39
4.2 Caracterización Físicoquímica.....	40
4.2.1 Color de la epidermis.....	40
4.2.2 Firmeza.....	43
4.2.3 Rendimiento pulpa /cáscara.....	45
4.2.4 Humedad.....	47
4.2.5 Almidón.....	48
4.2.6 Sólidos solubles totales, Acidez y pH.....	50
4.2.7 Índice de maduración (°Brix/acidez).....	52
4.2.8 Composición minerales.....	53
4.3 Incidencia del Tiempo de Cosecha en los Estados Fisiológicos y Vida Útil del Producto para Consumo Verde y Maduro.....	54
5. CONCLUSIONES.....	57
6. RECOMENDACIONES.....	60
7. REFERENCIAS.....	61

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1: Espacio Hunter I*a*b*.....	27
Figura 3-1: Montaje para respirometría por el método Pettenkofer.....	34
Figura 4-1: Comportamiento respiratorio para plátano Dominico Hartón a cinco edades de cosecha .....	36
Figura 4-2: Tasa de producción de etileno para plátano Dominico Hartón a cinco edades de cosecha .....	38
Figura 4-3: Pérdida fisiológica de peso en frutos de plátano Dominico Hartón a cinco edades de cosecha .....	40
Figura 4-4: Evolución del Color en plátano Dominico Hartón a cinco edades de cosecha.....	42
Figura 4-5: Variación de la firmeza para plátano Dominico Hartón a cinco edades de cosecha, almacenados a 22°C y 80% H.R.....	45
Figura 4-6: Relación Pulpa/cáscara de Plátano Dominico Hartón a cinco edades de cosecha, almacenado a 22°C y 80% de HR. ....	46
Figura 4-7: Evolución de la humedad durante la poscosecha de frutos de Dominico Hartón a cinco edades de cosecha, almacenadas a 22°C y 80% de HR.....	47
Figura 4-8: Almidón como % MS en Dominico Hartón a cinco edades de cosecha, almacenado a 22°C y 80% HR.....	49

Figura 4-9: Comportamiento del pH de plátano Domínico Hartón a cinco edades de cosecha, almacenado a 22°C y 80% HR.....	51
Figura 4-10: Evolución de °Brix/Acidez para plátano Dominico Hartón a cinco edades de cosecha, almacenados a 22°C y 80% de HR.....	52
Figura 4-11: Días poscosecha para que el Plátano Dominico Hartón, almacenado a 22°C y 80% de HR, alcance el color amarillo.....	56

# LISTA DE TABLAS

Tabla 2-1: Clasificación por dimensiones del Plátano Dominico Hartón.....	18
Tabla 2-2: Criterios de calidad del Plátano Dominico Hartón.....	19
Tabla 2-3: Condiciones de almacenamiento y velocidad de deterioro para plátano.....	20
Tabla 2-4: Efecto de temperatura sobre la velocidad de respiración y el factor $Q_{10}$ .....	20
Tabla 2-5: Volumen producción de $CO_2$ Banano Musa Cavendish.....	21
Tabla 2-6: Producción de etileno de plátanos almacenados a 14°C, 80% HR....	22
Tabla 2-7: Clasificación de algunas frutas de acuerdo a su producción de etileno .....	22
Tabla 4-1: Evolución del color para plátano Dominico Hartón a diferentes edades de cosecha, almacenados a 22 °C y 80% HR. ....	41
Tabla 4.2 Tabla de colores propuesta para plátano Dominico Hartón.....	55

## Resumen

Este trabajo se realizó con frutos de plátano Dominico Hartón (*Musa AAB Simmonds*) cultivados en el municipio de Belalcázar (Caldas), entre las cotas 900-1.200 m.s.n.m., con precipitación promedio en el rango 1.800-2.000 mm por año. Las temperaturas medias en el municipio se han estimado para las zonas bajas en 24°C; para las más altas en 18°C.

Los frutos fueron cosechados a las 14, 15, 16, 17 y 18 semanas desde floración, en invierno y transportados a los laboratorios de la Universidad de Caldas (Manizales). El experimento tuvo por objeto, evaluar cada dos días, hasta senescencia los cambios de peso, firmeza, color, rendimiento (pulpa/cáscara), índice de madurez (°Brix/acidez), pH, humedad, almidones, índice de respiración, tasa de etileno y minerales (Fe, Ca y P). Los parámetros físicos y químicos se determinaron por técnicas AOAC. De acuerdo a la caracterización fisiológica, se pudo establecer que la producción de etileno tuvo un comportamiento creciente durante la poscosecha de 24 a 225  $\mu\text{L} / \text{kg} \cdot \text{h}$ . con picos sobresalientes los días 7, 9, 14, 16 y 18 para los frutos cosechados a las semanas 18, 17, 16, 15 y 14 desde floración respectivamente y coincidentes con los picos climatéricos de producción de  $\text{CO}_2$  entre 3.4 y 8.9  $\text{g/Kg} \cdot \text{h}$ , lo cual clasifica el plátano Dominico Hartón como un material vegetal de alta producción de etileno y elevada intensidad respiratoria que desata la cascada de eventos propios de la maduración y explica su perecibilidad.

Se observó comportamiento climatérico y los días para maduración total fueron 9, 11, 14, 17 y 22 para los frutos de 18, 17, 16, 15 y 14 semanas desde floración, respectivamente. Las coordenadas de color  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ , son indicadores del estado de madurez de los frutos de plátano Dominico Hartón. La firmeza mostró un comportamiento decreciente, con valores máximos de 17  $\text{kg/cm}^2$  para el día de cosecha y mínimo de 11.5  $\text{kg/cm}^2$  para sobremaduración. El análisis de los datos, se basó en un arreglo factorial completamente al azar de una vía y cinco niveles

correspondientes al tiempo desde floración al momento de corte. Se aplicó un ANOVA al 95% de confianza, mediante software libre función R para datos balanceados; el estudio permite concluir que el tiempo de cosecha debe ser 16 semanas desde floración por comportamiento de las variables fisicoquímicas, tiempo de vida útil (verde y maduro) y rendimiento pulpa/cáscara, si se cosecha con mayor edad su vida útil es muy corta y si se cosecha a edad temprana no madura con características de calidad aceptables, el contenido de minerales no depende de la edad de cosecha pero si el tiempo de maduración y vida útil y se pueden predecir.

La información generada permite a los industriales y productores conocer el rendimiento del producto según la edad de cosecha, así como el tiempo de vida útil del producto (verde y maduro) y el grado de maduración por color, a los consumidores permite conocer el contenido de los minerales de mayor impacto nutricional dado que es base de su dieta.

Palabras clave: Dominico Hartón, poscosecha, caracterización, propiedades fisicoquímicas.

## Abstract

This work was performed with Dominico Harton plantain fruit (*Musa AAB Simmonds*) grown in the municipality of Belalcázar (Caldas), between 900-1200 m elevations, with average precipitation in the range 1800-2000 mm per year. Average temperatures in the city have been estimated for the lowlands at 24 ° C. For the highest at 18 ° C.

The fruits were harvested at 14, 15, 16, 17 and 18 weeks after flowering, winter and transported to the laboratories of the University of Caldas (Manizales). The experiment was intended to evaluate every two days, until senescence, changes in weight, firmness, color, yield (pulp / peel), maturity index (° Brix / acidity), pH, moisture, starch, respiration rate, rate ethylene and minerals (Fe, Ca and P). The physical and chemical parameters were determined by AOAC techniques. According to the physiological characterization, it was found that ethylene

production was increasing behavior postharvest with values between 24-225 uL / kg.h. with outstanding peaks of 7, 9, 14, 16 and 18 of postharvest for fruits harvested at weeks 18, 17, 16, 15 and 14 respectively from flowering and coincident with the climacteric peak CO<sub>2</sub> production between 3.4 and 8.9 g /kg.h, which classifies Dominico Harton plantain as a plant material how high ethylene production and high intensity respiratory cascade of events unleashed own maturation and explains their perishability.

Climacteric behavior was observed and the days to fully mature were 9, 11, 14, 17 and 22 for the fruits of 18, 17, 16, 15 and 14 weeks after flowering, respectively. The color coordinates L \*, a \* and b \*, are indicators of fruit maturity Dominico Harton plantain. The firm showed a downward trend, with maximum values from 17 kg/cm<sup>2</sup> to the day of harvest and minimum of 11.5 kg/cm<sup>2</sup> for ripening. The data analysis was based on a factorial completely randomized one-way and five levels for the time from flowering when cutting. ANOVA was applied to 95% confidence, using free software R function for balanced data, the study established that harvest time should be 16 weeks from flowering by physicochemical behavior variables, lifetime (green and ripe) yield and pulp / peel, if harvested with older life is very short and if harvested immature early age with acceptable quality characteristics, mineral content does not depend on the age of harvest but maturation time longer life and can be predicted.

The information allows producers to meet industrial and product performance by age of harvest, as well as the lifetime of the product (green and ripe) and the degree of maturation of color, consumers access to the contents of minerals of greater nutritional impact since it is based on your diet.

## Key words

Dominico Harton, postharvest, characterization, physicochemical properties

## Introducción

La gran diversidad de climas, pisos térmicos y suelos, al igual que los equilibrados balances hídricos en muchas de las zonas del país, privilegian a Colombia para la producción agrícola y facilitan sus posibilidades para los mercados internacionales. No obstante, se tiene una gran subutilización de los recursos naturales existentes, lo cual pone al país en condiciones inmejorables para desarrollar este sector productivo. Actualmente se presenta un desaprovechamiento del área de vocación agrícola de cerca del 60 % (Uribe, 2008), el cultivo de frutas representa un renglón que ofrece magnificas oportunidades, tanto en el mercado interno, como para exportación (DANE, 2008).

El plátano es base de la alimentación de la población rural por su aporte de nutrientes, macro elementos minerales (Fe, Ca y P), fitoquímicos y antioxidantes (Haslinda, 2009) de vital importancia para la salud humana (Verdura, 2000); además, sustancias bioactivas como vitamina C (Ayo-Omogie, 2010), flavonoides, antocianinas, carotenoides con actividad pro-vitamina A como  $\beta$ -caroteno,  $\alpha$ -caroteno y otros metabolitos secundarios (Melo, 2006). También contribuyen con un gran número de compuestos de carácter fenólico a los cuales se les atribuye actividad antioxidante y propiedades funcionales (Granda, 2005).

El plátano dominico hartón se produce en los países tropicales y caribeños de Sudamérica, Colombia es el tercer productor mundial de plátano con 2.7 millones de toneladas anuales, después de Uganda y Ruanda. Existen actualmente en Colombia 350.000 hectáreas del cultivo de plátano, de las cuales unas 50.000 corresponden a los Llanos Orientales y el resto de las hectáreas están en la zona cafetera central, principalmente. En Caldas se estima un área sembrada de 194.249 hectáreas para una producción de 679.655 toneladas en 3.101 unidades productoras; el cultivo genera a nivel nacional cerca de 300.000 empleos directos permanentes por año, es decir, unas 60.000 familias se dedican a las labores del

cultivo en todo el país y Caldas participa con el 4.8 % aproximadamente (ENA, 2011).

Las pérdidas de plátano, en la región andina, están dadas durante la cosecha y poscosecha por mal manejo en el corte, acopio inadecuado en la finca, transporte inapropiado a los centros de distribución e inexistencia de tecnologías de manejo y conservación poscosecha; las pérdidas son del orden del 10% y aproximadamente 6.000 Kg/semana en el caso del Municipio de Belalcázar, estas pérdidas se pueden disminuir teniendo en cuenta su morfología, fisiología y la influencia de esta en los procesos físicos, químicos y biológicos, que alteran el comportamiento poscosecha y la vida útil del alimento (Arrieta, 2006; Barrera *et al.*, 2006). Muchos de los cambios que se presentan durante la etapa de maduración o en poscosecha del plátano, afectan de manera directa su vida útil, la calidad sensorial y nutricional (Ornelas-Paz *et al.*, 2008). Es por esto que se hace necesario el conocimiento detallado y sistemático de las variables poscosecha, que afectan el proceso de maduración.

La cosecha del producto se realiza según su apariencia y se tiene como índice de cosecha el llenado de los frutos, en cultivos tecnificados se fija como índice la edad desde floración; estudios poscosecha del plátano han mostrado, durante la maduración, numerosos cambios en la composición química y el comportamiento poscosecha, para plátano el período poscosecha se ha extendido hasta 20 días (Arcila *et al.*, 2000). La madurez fisiológica de este fruto climatérico tiene una marcada influencia sobre la calidad física, características organolépticas, vida útil en almacenamiento (Reid, 2002) y la tasa de respiración, esta última es un indicativo de la velocidad de deterioro del producto (Azcón-Bieto y Talón, 2009).

Por las situaciones expuestas y para generar información técnica relativa al producto cultivado en el municipio de Belalcázar el objetivo de este trabajo fue determinar para cinco edades de cosecha el comportamiento de las variables

físicas (color de la epidermis, firmeza pérdida de peso y rendimiento pulpa/cascara), químicas (sólidos solubles totales, acidez, pH, humedad, almidón, Fe, Ca y P) y fisiológicas (producción de CO<sub>2</sub> y etileno) del plátano Dominico hartón, considerando constantes las condiciones agroclimáticas del municipio y labores agrícolas, dado que estos factores afectan las características de los frutos especialmente la concentración de compuestos fotoasimilados; se programó recolectar las muestras en época de invierno, los frutos fueron almacenados a 22°C y 85% H.R., en la Unidad Tecnológica de Alimentos de la Universidad de Caldas y se tomaron muestras por triplicado cada dos días desde el momento de cosecha hasta senescencia. Se determinó el comportamiento de las variables mencionadas y la edad de cosecha que genera mejor rendimiento y vida útil del producto, así como la tabla de color desde cosecha hasta maduración. La información generada permite a los cultivadores programar la edad de corte según los mercados a satisfacer y conocer las características del producto para negociar con los industriales en términos de rendimiento y dar salida al producto que, por tamaño, no cumple los requerimientos para consumo en fresco.

## **Objetivo general**

Evaluar los cambios físicos y químicos poscosecha del plátano Dominico Hartón, cultivado en el municipio de Belalcázar a diferentes edades de cosecha.

## **Objetivos específicos**

- Determinar el rendimiento a las diferentes edades de cosecha.
  
- Evaluar la incidencia de la edad de cosecha, en las características físicas y químicas poscosecha del producto.
  
- Determinar la incidencia del tiempo de cosecha, en los estados fisiológicos (pre climatérico, climatérico y posclimaterio) y vida útil del producto para consumo.

## Capítulo 2

### Revisión de literatura

En este capítulo se contextualiza la investigación, a través de la revisión bibliográfica, en su mayoría soportada en artículos científicos. Se presentan generalidades del cultivo y su producción, se describen los aspectos más relevantes de su evolución durante la maduración haciendo énfasis en los cambios debidos a procesos fisiológicos, físico-químicos y estructurales.

#### 2.1 Generalidades del cultivo de plátano dominico hartón

##### 2.1.1 Clasificación taxonómica

Nombre científico Musa AAB Simmonds

Clase: Monocotiledónea (herbácea)

Orden: Escitaminales

Familia: Musaceae

Género: Musa

La naturaleza herbácea confiere a las musáceas características especiales, por ejemplo, su alto consumo de agua. Cayón, Belalcázar y Lozada (1998) estiman que el clon Dominico Hartón requiere una precipitación mensual mínima de 150 mm para satisfacer sus necesidades hídricas, en altitudes desde el nivel del mar hasta los 2000 msnm., suelos con buena estructura, porosidad, drenaje, altos niveles nutricionales y pH entre 5 y 7.5 favorecen el desarrollo de plátano (Sierra, 1993), por eso es la variedad más cultivada en el municipio de Belalcázar.

### **2.1.2 Morfología**

El plátano es una planta anual, su desarrollo es mayor en suelos franco arenosos consta de cormo subterráneo (tallo) en el cual nacen las raíces y los pecíolos de las hojas (pseudotallo); en la parte superior del cormo está ubicado el meristemo principal el cual produce el racimo. Cuando el racimo emerge viene protegido por hojas modificadas llamadas brácteas generalmente de color rojo y que al desprenderse van descubriendo los grupos florales tanto masculinos como femeninos formándose a partir de estas últimas los frutos partenocarpicos y la bellota. El desarrollo o llenado de los frutos está condicionado por la acumulación de pulpa en las paredes internas de la cáscara, el tiempo de formación del fruto desde la floración hasta la cosecha fluctúa entre 14 y 18 semanas, punto en el cual el fruto no presenta aumento en peso fresco, este periodo es afectado por condiciones ambientales que pueden alargarlos o acortarlos; en la variedad Dominico hartón el racimo tiene de seis a ocho gajos pero en edad temprana se reduce a cinco gajos cortando lo que llaman la mano falsa para tener entre 25 y 35 frutos de gran tamaño.

### **2.1.3 Producción de plátano dominico hartón en Colombia**

Según estadísticas de la FAO, Colombia fue el segundo productor mundial, entre 1990 y 2003 Colombia presentó una tasa de crecimiento en su producción del 0.8% y en su rendimiento del 0.6%. Para el 2006, la producción de Plátano sube al 10% de la producción mundial. En el 2007 el ICA reportó que la producción colombiana de banano y plátano fue de más de 3.8 millones de toneladas, 12% al 13% de la producción mundial, de las que se exportaron alrededor de 1.500.000 toneladas, hay más de 480.000 hectáreas de cultivos de plátano y banano puntualiza el ICA. Según el Ministerio de Agricultura, de un total de 465.431 hectáreas, 15.899 (3,4%) correspondían fundamentalmente a cultivo para exportación, y 449.532 (96.6%) para el consumo doméstico, este último con un rendimiento promedio de 7.8 TM/Ha, y un total de producción de 3.506.349.6 toneladas de fruta. En 2010 se incrementó en un 30 por ciento con respecto a

2009. (ENA-2011). El cultivo del Plátano Musa AAB, Simmonds, es de gran importancia en Colombia, bajo diferentes modelos de explotación. Su consumo per cápita varía según las categorías de población así: zona rural cafetera 160 Kg/persona/año; zona urbana cafetera 64 Kg/persona/año; zona urbana nacional 32 Kg./persona-año. En algunas regiones rurales cafeteras se han detectado índices de consumo hasta de 300 Kg por persona al año. La producción de plátano en la región cafetera colombiana se estima en un 60% de la cosecha nacional del producto, es cultivado en zonas desde el nivel del mar hasta los 2.000 metros de altura, y dentro de un rango de temperatura de 17 a 35 grados centígrados.

#### **2.1.4 Precosecha del plátano**

Las variaciones del genotipo, del ambiente y de las prácticas culturales actúan a través de los procesos fisiológicos para controlar el crecimiento de los cultivos. Estos procesos constituyen la maquinaria por medio de la cual el genotipo y el ambiente influyen sobre la floración y el llenado de los frutos, es decir sobre la producción y calidad de las cosechas de plátano.

La temperatura y la altitud están correlacionadas y son factores determinantes para el crecimiento y desarrollo del plátano, influenciando el ciclo vegetativo de la planta, su actividad fotosintética y respiratoria. Las temperaturas bajas causan la producción de racimos y frutos con formas anormales (Belalcázar *et al.*, 1991). En términos generales, el período vegetativo del clon Dominico hartón se prolonga aproximadamente 10 días por cada 100 metros de altitud y esta influencia marcadamente la distribución de la materia seca durante el desarrollo de la planta. El plátano se cultiva en condiciones muy variadas de radiación solar, desde regiones de gran nubosidad ( $184 \mu\text{mol/s m}^2$ ) hasta otras de alta irradiancia promedio ( $1.500 \mu\text{mol/s m}^2$ ); el rendimiento del cultivo depende de la radiación solar interceptada, de la eficiencia de conversión de esta radiación en biomasa y

de los gastos respiratorios de la planta, para esto el plátano debe ajustar su actividad fotosintética y metabólica a la producción de fotoasimilados que le permitan crecer y llenar los racimos.

El crecimiento del racimo (en peso fresco o seco), después de la emergencia, sigue el modelo sigmoideal; en los primeros 40 días los frutos presentan un incremento rápido del peso fresco y seco de la pulpa y de la cáscara, pero la cáscara presenta la mayor proporción del peso seco de los frutos, a partir de esa época, la acumulación de materia seca es mayor en la pulpa y su tasa aumenta entre los 60 y 100 días desde floración. El racimo de plátano se cosecha cuando los frutos llegan a la madurez fisiológica (estadio de máxima acumulación de materia seca), la cual se alcanza de 80 a 120 días después de la brotación de la inflorescencia, dependiendo de las condiciones climáticas de la zona de producción, las cantidades menores de lluvia durante el llenado de los frutos, dan como resultado frutos de menor tamaño (Cayón, 2005).

### **2.1.5 Cosecha del Plátano**

En los cultivos tecnificados se hace la identificación del fruto directamente sobre el racimo o sobre el pseudotallo diferenciándolo mediante una cinta de color que permite clasificar los racimos por edades (un color para cada semana); para el plátano se utilizan 8 o 10 colores según la comercializadora y el encintado puede ser los racimos recién paridos o bacotas (en prematura) hasta tres brácteas abiertas y desde cuatro brácteas hasta la apertura de la última mano (en presente). Para la cosecha, se corta y transporta el racimo evitando maltratarlo o dejarlo expuesto al sol, desechando los racimos maduros, con excesivas cicatrices o maltratados. Se desmana por debajo de la línea oscura que une los dedos con el vástago. No se empaacan coronas desgarradas. Al empacar se selecciona la fruta con calibrador y cinta métrica (cada dedo debe medir mínimo 10 pulgadas de punta a punta). La caja de 25 kilos, se arruma sobre madera y bajo techo y se

transporta en camión carpado, haciendo arrumes de máximo siete cajas (NTC 1190)

## 2.1.6 Poscosecha del Plátano

Luego de cosechados, los frutos de plátano, pasan por cuatro estados de desarrollo fisiológico: preclimatérico, climatérico, maduración de consumo y senescencia. Es muy importante la prolongación del primer estadio, ya que en esta etapa los frutos son verdes con textura rígida y su actividad metabólica es baja. La calidad inicial de la fruta cosechada es posible mantenerla utilizando sistemas de conservación; cómo por ejemplo, empaques adecuados, sistemas de refrigeración, atmósferas controladas o modificadas, entre otros (Gutiérrez y López, 1999). Las condiciones de temperatura, humedad relativa, empaque y almacenamiento, pueden prolongar la vida útil del fruto, ya que son susceptibles a daños físicos, químicos y microbiológicos (Delgado, 2006).

## 2.1.7 Calidad del Plátano

Los frutos deben estar limpios, sin manchas, sin grietas, secos y sin daños, su calidad la establecen la NTC 1190 y la norma de la Corporación Colombia Internacional (CCI) como lo muestra la Tabla 2-1, de acuerdo a su tamaño y apariencia externa; durante la maduración y a medida que pasa por sus estados fisiológicos los parámetros de calidad son variados según el uso Pimentel (2010).

**Tabla 2-1:** Clasificación por Dimensiones del Plátano Dominic Hartón.

Clasificación	CCI	ICONTEC
Extra		
Grande (1 <sup>a</sup> )	> 350 g	> 350 g
Mediano (2 <sup>a</sup> )	250 - 299 g	250 - 349 g
Pequeño (3 <sup>a</sup> )	< 199 g	< 249 g

(Barrera, 2010).

Para los mercados extranjeros se aplican los criterios descritos en la Tabla 2-2, donde se detalla la clasificación, características y tolerancias de defectos.

**Tabla 2-2:** Criterios de Calidad para Exportación del Plátano Dominico Hartón.

CALIDAD	CARACTERISTICAS	TOLERANCIA
Extra	Cumplir las características mínimas, estar bien formados, tener pedúnculos bien formados, tener un grado de lleno de $\frac{3}{4}$ , coloración uniforme de acuerdo con la madurez: la longitud del dedo del plátanos hartón será de 25 Cm.	5% de plátanos con cuello roto, que no cumplan con las características mínimas y de este grado, pero sí de la siguiente calidad.
Primera	Cumplir con las características mínimas, estar bien formados, no presentar marcas entre las aristas y solamente tener daños superficiales.	5% de plátanos con cuello roto, que no cumplan con las características mínimas y de este grado, pero sí de la siguiente calidad, mientras que los defectos no impidan el consumo.
Segunda	Cumplir con las características mínimas. Pueden presentar daños superficiales pero no presentar manchas en más de $\frac{1}{3}$ de la superficie del plátano.	20% de plátanos con cuello roto, que no cumplan con las características mínimas y de este grado. Presentar formas irregulares mientras que los defectos no impidan el consumo.
Muestra	Comprende los plátanos que no clasificaron en ninguna de las anteriores categorías, porque son muy pequeños, deformes, quebrados y con daños apreciables.	

(Manual del exportados de frutas hortalizas y tubérculos, Colombia 2002).

## 2.2 Aspectos fisiológicos poscosecha

Las frutas son estructuras vivas que se hallan así cuando están 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 y Giovannoni, 2008). Durante este proceso los metabolitos (carbohidratos, proteínas y lípidos) son transformados en formas más simples para

proveer las demandas energéticas que requiere la fruta para su actividad funcional vital, además para la síntesis de otros metabolitos secundarios.

## 2.2.1 Respiración

La respiración es un proceso por el cual metabolitos como, carbohidratos, proteínas y lípidos, por degradación oxidativa, son transformados en formas más simples ( $\text{CO}_2$  y agua) y proveer las demandas energéticas de la fruta para su actividad funcional vital, y para la síntesis de metabolitos secundarios. De acuerdo a la tasa de producción de  $\text{CO}_2$  por unidad de peso de fruta en la unidad de tiempo, las frutas se pueden clasificar cómo climatéricas y no climatéricas (Kader, 2002); el  $\text{CO}_2$  extra durante el período climatérico procede de la descarboxilación del ácido málico. Durante el período climatérico las frutas adquieren la madurez de consumo (Parra y Hernández, 2005).

La maduración y el metabolismo después de la recolección se lleva a cabo por reacciones enzimáticas que dependen de la temperatura y cuya velocidad está dada por el valor  $Q_{10}$ , el cual representa una medida logarítmica de la tasa de cambio de la respiración en un sistema biológico como consecuencia del aumento de la temperatura  $10^\circ\text{C}$ .

En las tablas 2-3 y 2-4 se puede apreciar la variación del  $Q_{10}$  para plátano en función de la temperatura.

**Tabla 2-3** Condiciones de almacenamiento y velocidad de deterioro para plátano.

Producto	Temp. $^\circ\text{C}$	Humedad relativa%	Vida almacenamiento	Supuesto $Q_{10}$
Plátano pintón	13-16	85-90	20 días	1.5
Plátano verde	12-13	85-90	1 a 4 semanas	1.5

(Manual de Manejo Poscosecha de Frutas Tropicales, 2007)

**Tabla 2-4:** Efecto de temperatura sobre la tasa de respiración y el factor  $Q_{10}$ 

Temperatura °C	Tasa de respiración	Factor $Q_{10}$
0-10	1,0	3,0
11-20	3,0	2,5
21-30	7,5	2,0
31-40	15,0	1,5
> 40	22,5	-

(Brecht y Weichmann, 2003).

Algunos autores han modelado el comportamiento respiratorio de frutas de banano (*Musa paradisiaca* L.) para diferentes temperaturas, estableciendo los volúmenes de producción de  $CO_2$ , tal cómo se muestra en la Tabla 2-5 para banano (Bhande *et al.*, 2008).

**Tabla 2-5:** Tasa de respiración para Banano *Musa Cavendish*

Temperatura de almacenamiento en °C	Tasa de respiración en ( $ml\ CO_2 \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1}$ )
10	26,13
15	34,22
20	38,52
25	44,31
30	56,43

(Bhande *et al.*, 2008).

### 2.2.2 Etileno ( $C_2H_4$ )

En condiciones normales es un gas incoloro, posee actividad biológica a muy bajas concentraciones, desde  $0,01\ \mu L/L$ , el  $C_2H_4$  puede ser producido en procesos metabólicos o en procesos de combustión (Azcon-Bieto y Talón, 2003). Es considerado con gran actividad biológica, ha sido denominado cómo la hormona de la maduración (Capitani *et al.*, 1999). Se considera un regulador de procesos de desarrollo, destacando la maduración de los frutas, puede ser endógeno por

autoproducción o exógeno por adición externa (McClellan y Chang, 2008). La relación de la producción de  $C_2H_4$  y la tasa de respiración climatérica se ha comprobado en diferentes frutas, considerando que este gas es el iniciador de los procesos propios de la maduración (Chaves y Mello-Farias, 2006).

El método comúnmente usado para el análisis de etileno en productos biológicos es la cromatografía gaseosa y su límite de detección es de 0,1+/- 0,01 ppb. (Greef *et al.*1976), en la Tabla 2-6. Se muestran algunos resultados de determinación de etileno para plátanos. La hormona de la maduración o  $C_2H_4$  sufre reacciones catalíticas de oxidación, que han sido utilizadas en algunos casos como mecanismo de inhibición de su acción y de esta manera retrasar los procesos de maduración de los vegetales.

**Tabla 2-6:** Producción de etileno de plátanos almacenados a 14°C, 80% HR

Días	CO <sub>2</sub> (mL / kg.h)	Etileno (µL / kg.h)
0	33.14	1.28
1	39.97	1.77
6	24.48	2.26

(Vélez *et al.*, 2007).

Entre los efectos fisiológicos del  $C_2H_4$ , se destacan los que afectan directamente la maduración, como la estimulación de la respiración, el aumento de pectinas solubles y por tanto la reducción de la dureza del endocarpio, la degradación de la clorofila, despolimerización de polisacáridos de alto peso molecular, pérdida o disminución de ácidos, taninos y fenoles (Arcila, 2002). Entre los principales efectos negativos de la acción del  $C_2H_4$  en las frutas, se destacan senescencia acelerada y amarillamiento, manchas en la epidermis, pardeamiento en pulpa, acumulación de metabolitos, etc. Entre los principales efectos positivos de la acción del  $C_2H_4$  encontramos que favorece la abscisión, es útil para la desverdización de la epidermis y homogeneidad en la maduración de cítricos

(Lucangeli y Murray, 1998). De acuerdo a la tasa de producción de  $C_2H_4$ , las frutas se pueden clasificar según la Tabla 2-7 (Kader, 2002).

**Tabla 2-7:** Clasificación de algunas frutas de acuerdo a su producción de etileno

Tasa de síntesis de etileno	$C_2H_4$ en mg/kg h a 20°C	Frutas
Muy baja	< 0,1	Cítricos, uva, frutillas, coliflor, papa.
Baja	0,1 – 1,0	Sandía, pepino, berenjena.
Media	1,0 – 10	Banano, higo, melón, mango, tomate.
Alta	10 – 100	Manzana, kiwi, durazno, plátanos, papaya.
Muy alta	> 100	Chirimoya.

(Kader, 2002).

### 2.2.3 Pérdida fisiológica de peso

La pérdida de peso está relacionada con la tasa de transpiración, que hace referencia a la difusión del agua y sustancias volátiles de las frutas, producto del metabolismo (respiración, transpiración) a través de los hidátodos, estomas, lenticelas y la cutícula (Kader, 2002). Arcila (2002) reporta para Dominico hartón, almacenado a 22°C, pérdidas entre el 10% y 20%, Giraldo (2011) para la misma variedad a 23°C, reporta pérdidas cercanas al 25 %.

La difusión metabólica de los gases se rige por la primera ley de Fick, ecuación 2.1, que establece que el flujo de un gas a través de una barrera de tejido tiene como fuerza impulsora el gradiente de concentración (Lammertyn *et al.*, 2003).

$$dm/dt = -D * A * dc/dx \quad (\text{Ecuación 2.1})$$

Donde C es la concentración (mol/L), x es la distancia (cm), dm/dt es el equivalente de la velocidad a la que m moles de soluto atraviesan la barrera o

plano de referencia, para el caso de las frutas correspondiente al área superficial A ( $m^2$ ), en un tiempo t (seg.).

La transpiración se puede expresar en términos de la transferencia de calor conectiva y el calor latente de vaporización (en términos de la constante de transpiración, de la presión parcial del vapor de agua y de la resistencia a la difusión del vapor de agua). La pérdida de agua da pérdidas comerciales y cambia la apariencia del fruto (arrugas), pérdida de turgencia y textura. El sistema dérmico juega un papel importante en la regulación de la pérdida de agua de los vegetales, presentando barreras naturales que permiten controlar o contrarrestar las pérdidas de agua, por ejemplo la presencia de cutículas gruesas, pelos unicelulares o vellosidades epidérmicas, falsas espinas o rudimentos estilares (García y Praderes, 2009).

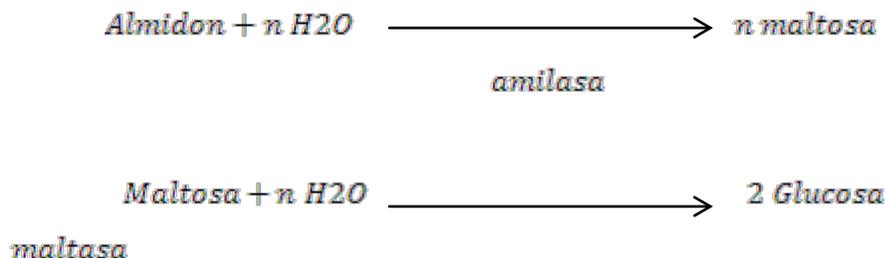
#### **2.2.4 Cambios en la maduración**

Muchos de los cambios que se presentan durante la etapa de maduración en las frutas afectan de manera directa su vida útil, calidad nutricional y sensorial. Los principales cambios son:

**Ablandamiento:** la polimetil-esterasa promueve la desmetilación y la poligalacturonasa el acortamiento de las cadenas de protopectina y compuestos pécticos en general durante las primeras etapas de la maduración las actividades de estas dos enzimas y también de la celulasa apenas se hacen evidentes y no se detectan en frutas maduras. En algunas frutas la hidrólisis del almidón también favorece el ablandamiento. (Goñi *et al.* 2008).

**Degradación del almidón:** Uno de los cambios más notables que ocurren en la maduración es la hidrólisis del almidón, es decir, hay rompimiento de las cadenas largas dando lugar a un aumento de azúcares simples, lo cual se expresa en el sabor generando un incremento en el dulzor. No sólo la hidrólisis del almidón sino

también de compuestos pécticos contribuye al aumento en la concentración de azúcares, el almidón se convierte a glucosa mediante  $\alpha$  –amilasa,  $\beta$  – amilasa y almidón fosforilasa. Las amilasas hidrolizan al almidón en dos segmentos (maltosa) que después son hidrolizados más adelante por la enzima maltasa (Goñi *et al.*, 2008).



**Pigmentos:** El cambio de pigmentos se caracteriza por una degradación de la clorofila y por la formación de carotenoides. La pérdida de la clorofila ocurre en forma paralela con la maduración (Cox *et al.*, 2004); desenmascarando carotenoides en los plástidos (Yang *et al.*, 2009). La evolución de la actividad de la clorofilasa y contenidos de clorofila y carotenoides en la piel durante la maduración, están asociados con los colores verde y amarillo, Las xantofilas libres disminuyen durante la maduración mientras que los niveles de xantofila ester aumentan. La actividad de clorofilasa aumenta con la maduración y se hace paralela al pico respiratorio.

El sabor debe considerarse como una percepción sutil y compleja de la combinación del gusto (dulce, ácido, astringente), la concentración de ácidos orgánicos tiende a disminuir después de la cosecha de los productos hortofrutícolas en el caso de plátano el ácido málico aumenta en cáscara y pulpa (Márquez, 2004).

Los cambios en la aroma se atribuyen a un grupo heterogéneo de compuestos volátiles (ácidos orgánicos de cadena corta, alcoholes alifáticos, aldehídos, derivados del isopreno, etc.), producidos naturalmente a partir de enzimas

encontradas en tejidos intactos por ruta isoprenoide, ruta del ácido shikimico, y  $\beta$ -oxidación (Lalel, 2003); los compuestos volátiles más importantes responsables del aroma de los plátanos son (E)-2-hexenal y hexanal (Guylene, 2011).

La mayoría de las frutas carnosas son órganos relativamente grandes que poseen un buen porcentaje de tejido parenquimatoso con células que llegan a alcanzar diámetros de 0.5 mm o más y cuyas paredes pueden ser de menos de 1mm de espesor. El adelgazamiento y los cambios en turgencia y composición, provocan el ablandamiento, los cambios en la pared celular y lámina media pueden ser tan grandes que las células se redondean y se separan unas de otras; esta disociación conocida como disociación celular es la causa de la excesiva suavización que caracteriza a la fruta sobremadura, así mismo la separación de las células a lo largo de la lámina media da lugar a la formación de espacios intercelulares. En estados avanzados de la maduración ocurren cambios ultraestructurales de las membranas, lo que da lugar a la fuga de iones y líquidos intracelulares a los espacios intercelulares y ésta es la causa de que el tejido aparezca como remojado en agua (Hernández *et al.*, 2007).

## 2.3 Caracterización físico-química de las frutas

El conocimiento acerca de la evolución de las características físico-químicas en las frutas es de máxima importancia, ya que estos factores de la poscosecha, determinan aspectos tan relevantes como, calidad sensorial, calidad comercial, calidad nutricional e índice de madurez, en general los vegetales poseen exclusivas cualidades en lo referente a patrón de crecimiento, color, forma, densidad aparente y real y composición.

### 2.3.1 El color

Es uno de los índices de madurez más relevante en frutas, constituye una medida rápida, funcional y muy práctica del estado de madurez, no obstante se recomienda que este acompañado, de por lo menos otras dos características físico-químicas. En general para su evaluación se aplican técnicas sensoriales e instrumentales, siendo estas últimas por su relevancia de gran utilidad en el manejo poscosecha de frutas y hortalizas (Lana *et al.*, 2006; Salvador *et al.*, 2007).

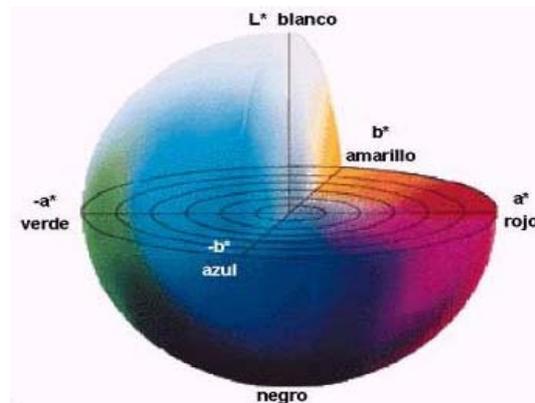
Los cambios de color debidos a la maduración de las frutas, están relacionados con el metabolismo del vegetal, que se manifiesta con la degradación de algunos pigmentos y aparición o afloramiento de otros, lo cual es motivado por aspectos, genéticos de la especie, fenotípicos y ambientales (Cox *et al.*, 2004).

El color de un alimento, incluyendo las frutas puede ser identificado a partir del sistema "Hunter Lab" o "L, a, b" donde "L" corresponde a la luminosidad, con escala de 0 a 100, "a" concierne al intervalo de colores entre el verde(-) y el rojo(+), y "b" representa al intervalo de colores entre el azul(+) y el amarillo(-), con cuyas combinaciones se puede expresar cualquier color y su evolución en el tiempo (Hernández *et al.*, 2009). La Figura 2-1 presenta el espacio de color "HunterLab" a partir del cual se pueden determinar las coordenadas para cualquier alimento, con los valores obtenidos de L\*, a\* y b\*, se calcularon el ángulo de tono Hue (ecuación 2.2), el índice de saturación del color o Croma (ecuación 2.3) y el cambio de color total o  $\Delta E$  (ecuación 2.4).

$$\text{Hue} = \text{Arc Tang}(b^*/a^*) \quad \text{Ecuación 2.2}$$

$$(c^*) = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad \text{Ecuación 2.3}$$

$$\Delta E = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2} \quad \text{Ecuación 2.4}$$



**Figura 2-1:** Espacio Hunter  $L^*a^*b^*$  (Williams, 2002).

En poscosecha los atributos de color cambian como consecuencia de la degradación de la clorofila y síntesis de otros metabolitos, como carotenoides y antocianinas, lo cual se debe a uno o varios procesos secuenciales, los más relevantes son debidos al pH, procesos oxidativos y la acción de las enzimas, destacando las clorofilazas (Bernal y Díaz, 2003).

El Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC), ha establecido el color como uno de los principales índices de medida para el grado de madurez de las frutas, normalmente relacionados con los SST y el porcentaje de acidez total (NTC, 4086; NTC, 4102; NTC, 4103. 2003).

### 2.3.2 Rendimiento en pulpa de las frutas

El principal producto de la transformación primaria de las frutas es la pulpa. Se define por pulpa, el producto pastoso, no diluido, ni concentrado, ni fermentado, obtenido por la desintegración y tamizado de la fracción comestible de frutas frescas, sanas, maduras y limpias (Gallo, 1997).

El rendimiento en pulpa varía en función del tipo de fruta, del cultivar y en muchas ocasiones, de su estado de desarrollo o índice de madurez (Márquez *et al.*, 2007). Cada especie de fruta posee un rendimiento en pulpa específico y atributos muy particulares, que la caracterizan físico-química y sensorialmente. Lo ideal es que las frutas posean alto rendimiento en pulpa, un elevado valor de SST expresados como °Brix, representados mayoritariamente por azúcares del tipo, sacarosa, glucosa y fructosa, para algunos casos es importante una alta acidez y acentuadas las características sensoriales de color, sabor, aroma y apariencia (Márquez, 2004). La relación pulpa/cáscara aumenta en respuesta a la maduración y obedece a cambios diferenciales en el contenido de humedad de la cáscara y de la pulpa. El aumento de la relación pulpa/cáscara durante la maduración está relacionado con la concentración de azúcar en los dos tejidos (Liu *et al.*, 2004).

### 2.3.3 Dureza de las frutas

Los materiales biológicos, como las frutas, desde su cosecha y en las prácticas de manipulación, transporte y acondicionamiento poscosecha están sometidos a diversas condiciones de fuerzas o cargas aplicadas, las cuales pueden ocasionar gran daño mecánico y afectar su calidad y precio. Por tanto, identificar las magnitudes de esas cargas y esfuerzos resulta determinante, para mejorar las técnicas de empaque, transporte, manejo y control de daño mecánico y así conservar su calidad. Su comportamiento se ve afectado por una combinación de múltiples factores o características físicas, químicas, térmicas y mecánicas a las cuales se encuentran sometidos los productos agrícolas y alimentos en general, los cuales pueden considerarse materiales de ingeniería de naturaleza viscoelástica y caracterizados por su anisotropía (Ciro *et al.*, 2005), la fractura de un vegetal, es un daño mecánico ocasionado por una fuerza externa que puede ocasionar cambios de sabor, alteración química del color, incluso sin llegar a romper la superficie del producto (Anderson, 2000). Los cambios en la maduración son consecuencia de las modificaciones en la pared celular y de la lamela media por actividad enzimática (Goulaoy Oliveira, 2008; Zhuang *et al.*, 2006), el daño

celular y la formación de espacio de aire entre las células conlleva al colapso y separación de la estructura de la cáscara (Nuankamol, 2012).

### 2.3.4 Acidez y pH

Dentro del metabolismo de la maduración sobresale la síntesis de algunos ácidos orgánicos como cítrico, málico, ascórbico, oxálico, fumárico y tartárico. Para bananos se ha encontrado que los más representativos son ácido málico y cítrico, (Liu *et al.*, 2004). Usualmente, los ácidos orgánicos disminuyen durante la maduración debido a la respiración o su conversión en azúcar (Wills *et al.*, 1999).

Algunas frutas, presentan aumento de la concentración total de ácidos en su etapa de poscosecha, y por lo tanto disminución del pH, dentro de ese comportamiento se encuentran las musáceas. En plátanos existe una rápida disminución del pH de la pulpa en respuesta al aumento de la madurez, sin embargo, la magnitud de la disminución depende del cultivar. Cuando las frutas se cosechan con el grado de madurez verde maduro, el pH de la pulpa es alto, pero al progresar la maduración, el pH cae; de este modo, el pH de la pulpa podría ser utilizado como un índice de maduración.

### 2.3.5 °Brix

Durante la maduración de los plátanos, el contenido de sólidos solubles totales y (principalmente el azúcar) aumenta y podría representar un índice útil del grado de madurez. Sin embargo, la magnitud del aumento depende del híbrido. El contenido de sólidos solubles aumenta hasta un pico y luego disminuye en sobremaduración, la caída en sólidos solubles totales puede ser debido a la conversión del azúcar de la pulpa en alcohol por el inicio de procesos fermentativos.

### 2.3.6 Almidón

El cambio químico poscosecha más importante que ocurre durante la maduración del plátano es la hidrólisis del almidón y la acumulación de azúcar, es decir, sacarosa, glucosa y fructosa que son los responsables por la intensificación del sabor dulce de la fruta a medida que madura. Esta transformación altera la textura, el sabor y la consistencia del fruto, la degradación de sustancias poliméricas como pectinas y hemicelulosa debilita las paredes celulares y las fuerzas cohesivas que mantienen las células unidas como observó Shiga (2011) para tres cultivares de bananos. Las sustancias pécticas proceden de un precursor polimérico de alto peso molecular llamado protopectina, durante la maduración las protopéctinas se degradan en compuestos de menor peso molecular y de mayor solubilidad en agua, este fenómeno induce la velocidad de ablandamiento de la fruta. En el plátano esta descomposición es lenta comparada con otras musáceas y menos completa y continúa en las frutas muy maduras y senescentes (Marriott *et al.*, 1983).

### **2.3.7 Humedad**

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 o periodo pre climatérico. La variación de la humedad en los frutos depende en gran medida de los procesos de transpiración, de procesos difusivos y osmóticos.

## Capítulo 3

# Materiales y métodos

Este capítulo presenta la descripción del material vegetal utilizado, las características climáticas de la zona de cultivo. Los procedimientos detallados de manera secuencial de cada uno de los experimentos realizados para el logro de los objetivos propuestos, se referencian los equipos, al igual que los procedimientos estadísticos y rutinas utilizadas.

### 3.1 Localización

La investigación se realizó en la Universidad de Caldas (Manizales) con la contribución de los siguientes laboratorios:

Unidad Tecnológica de Alimentos: en este laboratorio se llevó a cabo la caracterización física y química, es decir pérdida fisiológica de peso, relación pulpa/cascara, dureza, sólidos solubles totales, acidez, pH, °Brix, y respirometría.

Laboratorio de cromatografía: para la determinación de la tasa de etileno.

Laboratorio de control de calidad de la empresa Casaluker: para la determinación de los parámetros de color.

### 3.2 Material vegetal

El material vegetal utilizado para la investigación fueron frutos de plátano Dominico Hartón cultivados en el municipio de Belalcázar, ubicado en el sur occidente del departamento de Caldas, con precipitación entre 1800 - 2300 mm. por año, temperaturas medias entre 24°C y 18°C con suelo franco arenoso; allí se cultiva plátano dominico hartón entre las cotas 1200 y 1600 m.s.n.m.

Se identifican los racimos mediante el c conteo de las plantas recién paridas (primera semana de aparición de la bellota). Esto permitió tener un inventario de las posibles plantas a incluir en el estudio, una vez cumplido el tiempo desde floración, los frutos fueron colectados a la semana 14, 15, 16, 17 y 18 y el mismo día transportados hasta la unidad tecnológica de alimentos de la Universidad de Caldas donde fueron almacenados a 22°C y 80% de H.R., para los respectivos análisis.

### 3.3 Diseño experimental

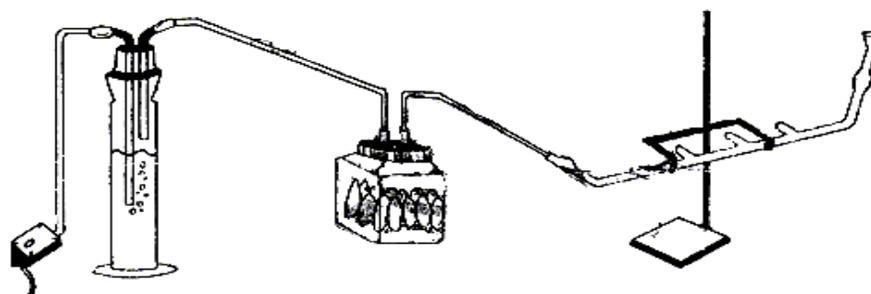
Se realizó un arreglo completamente al azar de un factor con cinco niveles correspondientes al tiempo desde floración al momento de corte; cada ensayo se hizo por triplicado. Las variables de respuesta fueron los rendimientos y características fisicoquímicas en el momento de cosecha y los cambios fisicoquímicos durante el proceso de maduración. El análisis aplicado a los datos fue un anova al 95% de confianza con el paquete estadístico de función R para datos balanceados en cuatro estados fisiológicos.

### 3.4 Métodos

#### 3.4.1 Métodos para la caracterización fisiológica

**Tasa de respiración:** La tasa de respiración fue determinada por adaptación del método químico de Pettenkofer, en el cual se pesó la muestra y se introdujo en un

recipiente hermético, el  $\text{CO}_2$  producto de la respiración, fue recolectado en una cantidad medida y en exceso de  $\text{NaOH}$  0,1 N, neutralizando parte de la misma; se calcularon los equivalentes de ácido carbónico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) formado y por estequiometría se cuantificó la cantidad de  $\text{CO}_2$  producido por la fruta durante 1 hora de experimentación a  $22\text{ }^\circ\text{C}$ , los resultados se expresaron en  $\text{mg}$  de  $\text{CO}_2/\text{kg}\cdot\text{h}$ ; el montaje se aprecia en la fig. 3-1.



**Bomba    Solución KOH    FRUTOS    PETTENKOFER con Ba(OH)<sub>2</sub>**

**Figura 3-1** Montaje respirometría por Pettenkofer.

(Mejía, 2002)

**Valoración de etileno en sistema cerrado:** Para la determinación del etileno se utilizaron bolsas de polietileno polietileno PD 900 con una permeabilidad al etileno de  $8 \times 10^{-13} \text{ cm}^3/\text{cm}^2 \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$ . Muestras de aproximadamente un kg se colocaron en las bolsas, a las cuales se le hizo un sellamiento con calor y se almacenaron a  $22^\circ\text{C}$  durante una hora. Posteriormente una muestra de 1 ml del gas recolectado al interior del empaque fue inyectado en un cromatógrafo de gases Hewlett Packard HP 6980 PLUS equipado con un detector de ionización de llama y una columna HP5. El análisis se hizo isotérmicamente a  $50\text{ }^\circ\text{C}$ , como gas de arrastre se utilizó  $\text{N}_2$  a un flujo de  $3,7 \text{ mL}/\text{min}$ ; las temperaturas del inyector y del detector se mantuvieron a  $50^\circ\text{C}$ . Para la cuantificación se hizo una curva de calibración con

un patrón estándar de etileno de concentración de 50 p.p.m. (Cruz-Medina *et al.*, 2007).

**Evaluación de la pérdida fisiológica de peso:** se seleccionaron tres muestras por cada edad de cosecha y se les hizo seguimiento del peso en el tiempo cada dos días en una balanza analítica digital Mettler Toledo XP 504, capacidad 520 g  $\pm 0.1$  mg. Los datos obtenidos se compararon con el peso inicial.

### 3.4.2 Métodos para la caracterización físico-química

**Medida del color:** Para la medida del color se utilizó un colorímetro Hunter – LAB modelo DP-9000, a partir de los espectros de reflexión se obtuvieron las coordenadas de color del Hunter  $L^*a^*b^*$ , donde  $L^*$  es un indicador de la luminosidad,  $a^*$  representa la cromaticidad (verde (-) a rojo (+)) y  $b^*$  representa la cromaticidad azul (-) a amarillo (+). A cada muestra se le realizaron tres medidas ecuatoriales en la epidermis o piel y se expresaron como promedio aritmético, (Hernández *et al.*, 2009).

**Determinación del rendimiento:** para el análisis se utilizó una balanza analítica digital Mettler Toledo XP 504, capacidad 520g  $\pm 0.1$  mg. Cada dos días hasta muerte tisular, por triplicado, se aplicó el método gravimétrico para determinar la cantidad de pulpa y cáscara por separado, a los frutos de cada semana de cosecha (Camacho y Romero, 1996).

**Determinación de la firmeza:** Para la medida de la firmeza, se aplicaron pruebas de compresión unidireccional usando una sonda cilíndrica de acero inoxidable de 8 mm de diámetro, mediante penetrómetro Chatillon DFE-050 adaptado con punzón cilíndrico de 6 mm de diámetro, a partir de la aplicación de la fuerza

máxima necesaria para penetrar el material vegetal, correspondiente a la firmeza (Ciro *et al.*, 2005).

**Sólidos solubles totales:** La valoración de los sólidos solubles totales, se realizó en un equipo Leica auto ABBE con escala de 0-32 % a 23°C, por el método refractométrico, y se expresaron los resultados como (°Brix), método 932.12/90 de la A.O.A.C. (Barrera *et al.*, 2010).

**La acidez:** se obtuvo por titulación potenciométrica, con reacción ácido base y se expresaron los resultados en % de ácido málico, utilizando un potenciómetro Schott modelo CG-840B según el método adaptado 942.05/90 de la A.O.A.C.

**pH:** se determinó con un potenciómetro Schott modelo CG-840B por el método 981.12/90 de la A.O.A.C (Barrera *et al.*, 2010).

**Almidón:** El contenido de almidones se midió por el método colorimétrico de Antrona modificado (AOAC 2002.02/90) a 630 nm empleando la curva patrón de azúcares totales en un equipo VARIAN SPECTRA AA 220.

**Humedad:** Se utilizó un método gravimétrico, se colocó la cápsula con tapa durante 1 hora en la estufa a la temperatura de secado del producto, se trasladó la cápsula tapada al desecador y se enfrió durante 30 minutos, 5 g de muestra previamente homogeneizada se colocaron, con el conjunto, a 105 °C por 5 horas.; se enfrió en desecador durante 30 minutos, (Método 4.1.06 A.O.A.C), se efectuó el análisis por triplicado.

**Minerales:** El Ca y el Fe se determinan por espectrofotometría de absorción atómica ambos en un equipo VARIAN SPECTRA AA 220 (Arévalo, 1999) a longitud de onda de 422.7 nm e intensidad de lámpara de 10 mA para Ca y a longitud de onda de 248,3 nm y una corriente de 5 mA para Fe. El fósforo (P) se

determina empleando un método colorimétrico (cloruro estañoso) (Monsalve, 2001).

## CAPÍTULO 4

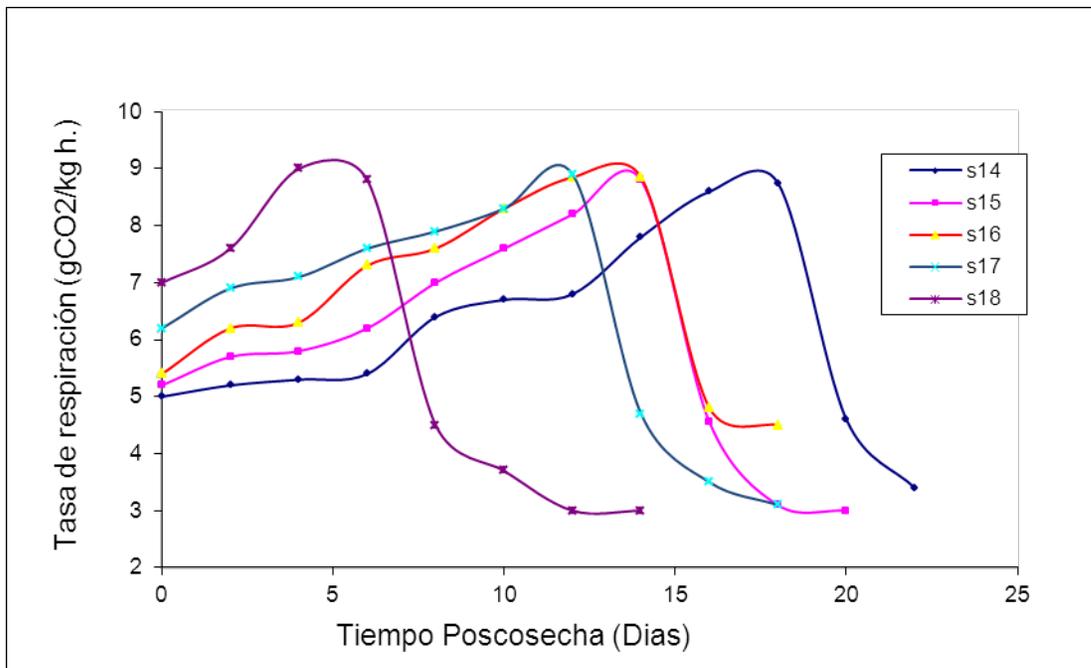
### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Caracterización fisiológica

##### 4.1.1 Tasa de respiración

La figura 4.1 describe el comportamiento de la tasa de respiración expresada en mg de CO<sub>2</sub>/Kg.h para los frutos de plátano Dominico Hartón a diferentes edades de cosecha.

**Figura 4.1** Comportamiento respiratorio para plátano Dominico Hartón a cinco edades de cosecha.



De acuerdo a la Figura 4.1, la respiración mostró un primer periodo de incremento continuo hasta los días 18, 14, 12, 7, y 4 para los frutos de 14, 15, 16, 17 y 18 semanas de cosecha, en su orden, los intervalos del día anterior a los picos fueron los de mayor aceleración en la producción de CO<sub>2</sub>, con valores máximos de 9, 8.9, 8.85, 8.8 y 8.75 respectivamente; se puede apreciar, cómo la actividad respiratoria aumenta con la edad de cosecha y presenta un comportamiento climatérico monofásico, luego se dio un descenso hasta sobre maduración los días 21, 20, 18, 16, y 12 respectivamente e inversamente proporcional a la edad de cosecha; Giraldo (2010) reporta valores promedio de 9.2 gramos de CO<sub>2</sub>/kg.h para Dominico hartón en el departamento del Quindío.

Los picos respiratorios son el reflejo de un incremento en la actividad mitocondrial por mayor disponibilidad de carboxilatos, además de la degradación del almidón y modificación de las paredes celulares (Iris, 2006) por acción enzimática y la formación de carbohidratos de bajo peso molecular. De acuerdo a la producción de CO<sub>2</sub>, el plátano es un fruto climatérico con tasa de respiración extremadamente

alta, aspecto que se refleja en la vida útil y en lo perecedero del vegetal como confirma Kader (2002).

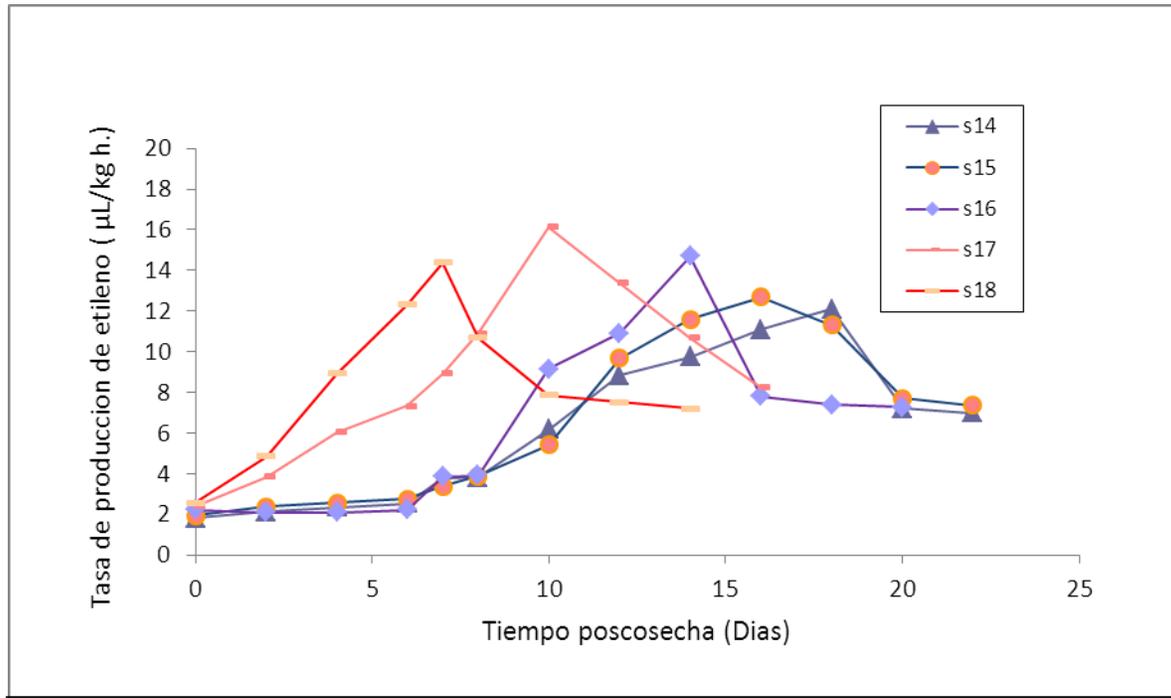
El análisis anova al 95% de confianza de los datos mostró incidencia estadísticamente significativa de la edad de cosecha y el tiempo poscosecha en el comportamiento de la variable.

### 4.1.2 Producción de etileno

En la Figura 4.2 se presentan los datos de producción de etileno, los frutos de Dominico Hartón cosechados en las semanas 14, 15, y 16 durante los días de poscosecha presentaron las más bajas concentraciones de  $C_2H_4$ , con un comportamiento continuo asintótico frente al eje X, a partir del día 6 mostraron mayor crecimiento en la producción de la fitohormona con un comportamiento similar al de los frutos de las semanas 17 y 18; se alcanzaron picos los días 18, 16, 14, 9 y 7 para los frutos de la semana 14, 15, 16, 17 y 18 desde floración, respectivamente, seguido de un descenso para estabilizarse al orden de  $7.4 \mu\text{L}/\text{kg}\cdot\text{h}$ ., Kader (2002) clasifica los plátanos como frutos de alta producción de etileno y considera que la producción de etileno es de  $0.3$  a  $10 \mu\text{L}/\text{kg}\cdot\text{h}$ , lo anterior demuestra una intensa actividad de síntesis de etileno, orientado a promover la gran actividad metabólica que ocurre en el vegetal para inducir la maduración dado que en todos los frutos se presentó en el estado pintón acorde con Barrera (2010). Puede apreciarse en las Figuras 4.1 y 4.2, que previo a los picos respiratorios se presenta un acentuado crecimiento en la producción de etileno que es el responsable de estos picos respiratorios climatéricos autocatalíticos y previos al incremento de la tasa respiratoria. Para el periodo posclimatérico hay cierta insensibilidad frente a la alta producción de  $C_2H_4$  y su acción, debido a que en el fruto ya se ha generado la cascada de eventos propios de la maduración a través de las proteínas que se expresan genéticamente, originando polipéptidos que constituyen las nuevas enzimas responsables de toda la serie de eventos que

ocurren con la maduración como afirman Dugardeyn y Straeten (2008) y Fernández *et al.* (2009).

**Figura 4.2** Tasa de producción de etileno para plátano Dominico Hartón a cinco edades de cosecha



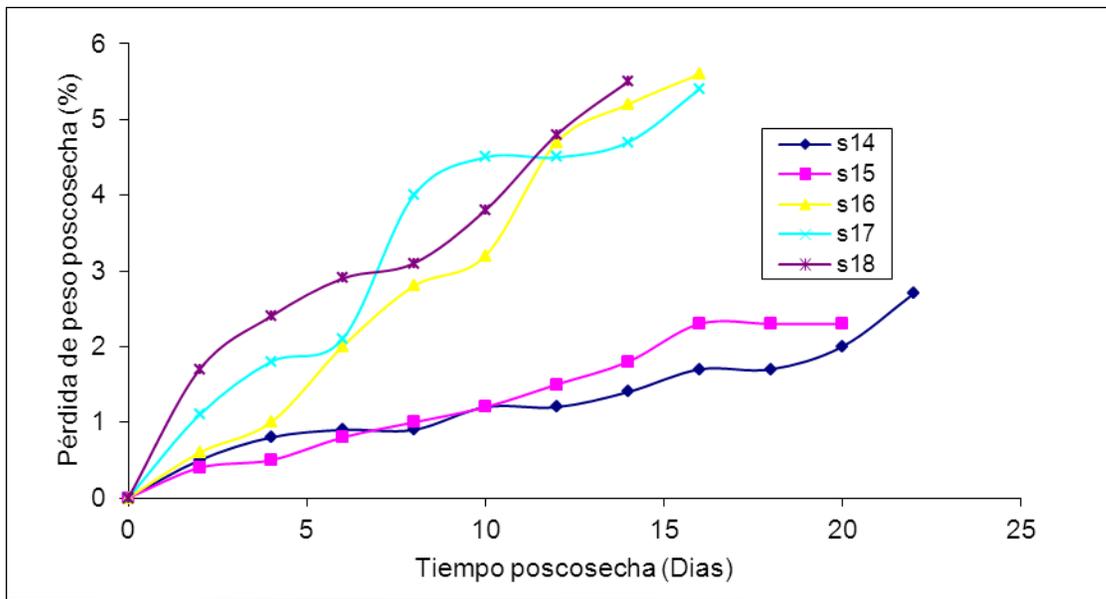
### 4.1.3 Pérdida fisiológica de peso

El plátano Dominico Hartón crece significativamente desde floración hasta la semana 16, durante las dos semanas siguientes su crecimiento no es muy significativo; el peso fresco al momento de cosecha oscila entre 325.5 g para la semana 14 y 425 g para la semana 18, Arrieta (2002) para Dominico hartón a diferentes épocas de cosecha reporta valores del orden de 310 g. Giraldo (2010) reporta valores de 430 g. Este comportamiento puede explicarse por el hecho de que el peso depende de la cantidad de fotoasimilados que aumenta con la edad de cosecha y depende de características fenotípicas y agroclimáticas.

El comportamiento de la pérdida fisiológica de peso expresada en porcentaje, para los frutos de plátano Dominico Hartón almacenadas a 22°C y 80 % de H.R. en época lluviosa, durante toda la etapa de poscosecha varió desde 2.5 % para los frutos de 14 semanas de cosecha hasta 4.5 % para los frutos de 18 semanas de cosecha, como puede apreciarse en la fig. 4-3; Giraldo (2010) en el departamento del Quindío encontró pérdidas hasta del 23 % y Arcila (2002) en tres localidades de la región cafetera entre el 10% y 20%, para la misma variedad.

En almacenamiento la pérdida de peso en el tiempo es cada vez menor, la mayor pérdida de peso obedece a la transpiración por efecto de la transferencia de masa en función del gradiente de humedad, área del fruto, temperatura y H.R., en la medida en que el producto se aproxima a la muerte tisular disminuye el gradiente de humedad y por ende la tasa de transpiración también. La pérdida de peso es inferior a la reportada por Arcila (2002). El análisis de varianza al 95% de confianza mostró incidencia estadística altamente significativa de la edad de cosecha y del tiempo poscosecha en el comportamiento de la variable.

**Figura 4.3** Pérdida fisiológica de peso en frutos de plátano Dominico Hartón a cinco edades de cosecha.



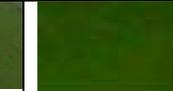
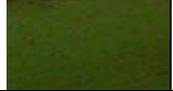
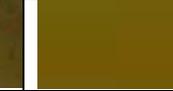
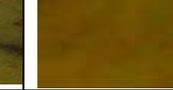
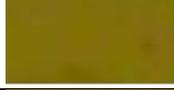
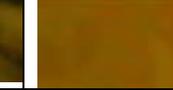
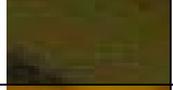
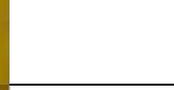
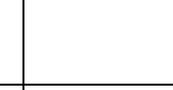
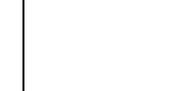
## 4.2 Caracterización fisicoquímica

### 4.2.1 Color de la epidermis

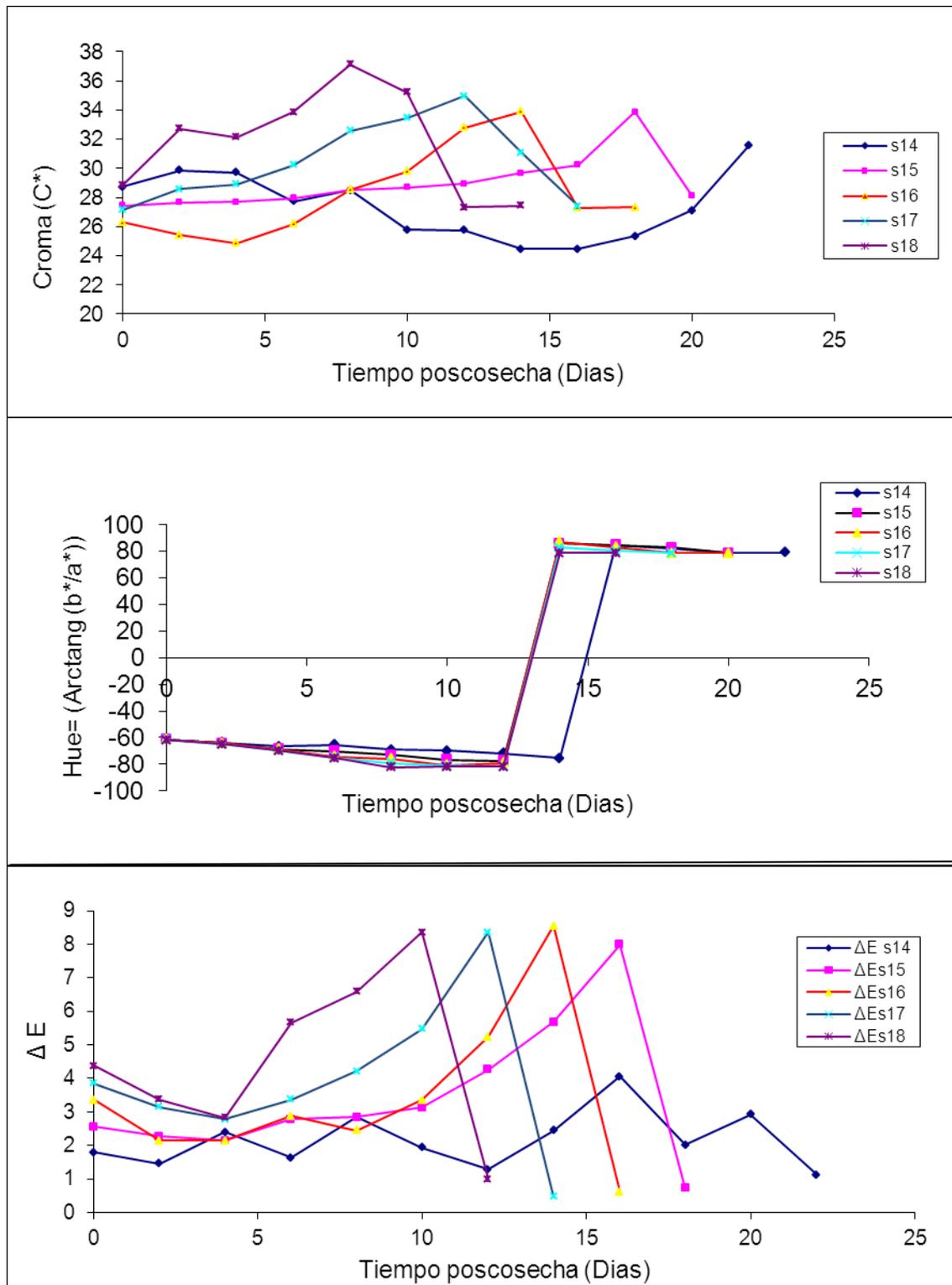
La evolución del color se reporta en la tabla 4.1, la figura 4.4 presenta los resultados de tinte, croma y  $\Delta E$ , para la epidermis de los frutos de plátano Dominico Hartón, los valores se calculan referidos a la lectura del día anterior.

La luminosidad ( $L^*$ ) presentó un comportamiento ligeramente decreciente desde 46.3 hasta 32.96, la pérdida de luminosidad se acentúa en los días de sobremaduración y es más notoria en los frutos de mayor edad. La coordenada  $a^*$  presentó valores desde -13.72 hasta 2.27 siendo más negativos para los frutos de menor edad de cosecha, luego tiene un comportamiento creciente que se intensifica con la madurez y sobremadurez, presentando valores positivos en la última etapa de poscosecha por desaparición del color verde. La coordenada  $b^*$  presentó valores desde 22.45 hasta 36.77, presenta crecimiento ligero y continuo hasta los días de maduración total y un descenso posterior hasta la sobremaduración cuando disminuye la intensidad de color.

**Tabla 4.1** Evolución del color para plátano Dominico Hartón a diferentes edades de cosecha, almacenados a 22 °C y 80% H.R.

POSCOSECHA	SEMANA 14	SEMANA15	SEMANA 16	SEMANA 17	SEMANA 18
0					
2					
4					
6					
8					
10					
12					
14					
16					
18					
20					
22					

**Figura 4.4** Evolución del color en plátano Dominico Hartón a cinco edades de cosecha.



En la figura 4.4 puede apreciarse cómo en la epidermis el tinte o tono angular Hue, presentó un comportamiento ligeramente decreciente en escala de verdes hasta amarillo el día de maduración y un descenso más marcado hasta alcanzar la

senescencia (amarillo con manchas marrón), acorde con lo que se observa en el registro fotográfico; el que las líneas se toquen concuerda con la existencia de colores idénticos en la tabla 4.1 entre frutos de diferentes edades; la cromaticidad que indica la intensidad o concentración del color predominante, muestra un ascenso (pérdida del color verde) hasta el día de maduración y posterior descenso (de amarillo a café) en sobremaduración, como consecuencia  $\Delta E$  muestra un cambio notorio para los frutos cosechados en edad fisiológica adecuada (16, 17 y 18 semanas desde floración) que alcanzan maduración total, como puede observarse en la tabla 4.1. Los colores en maduración y sobremaduración de la tabla 4.1 muestran la incidencia de las labores de cosecha en la apariencia poscosecha de los frutos.

Los aspectos de la evolución del color se encuentran asociados con la disminución de clorofila b, por actividad enzimática hidrolizándose a clorofilida y fitol (Yang *et al.*, 2009), y la disminución de la intensidad de color está asociada con la disminución de clorofila a, debido a que la clorofila b posee una estructura similar a la de la clorofila a (feoforbido y clorofilida), pero el grupo 3-metilo se halla sustituido por el grupo 3-formilo (Castro *et al.* 2008), esta pequeña diferencia, produce cambios en las absorciones visibles (Yang *et al.*, 2009). El análisis estadístico reportó incidencia altamente significativa de la edad de cosecha y el tiempo poscosecha en los parámetros de color como lo muestra el Anexo A.

## 4.2.2 Firmeza

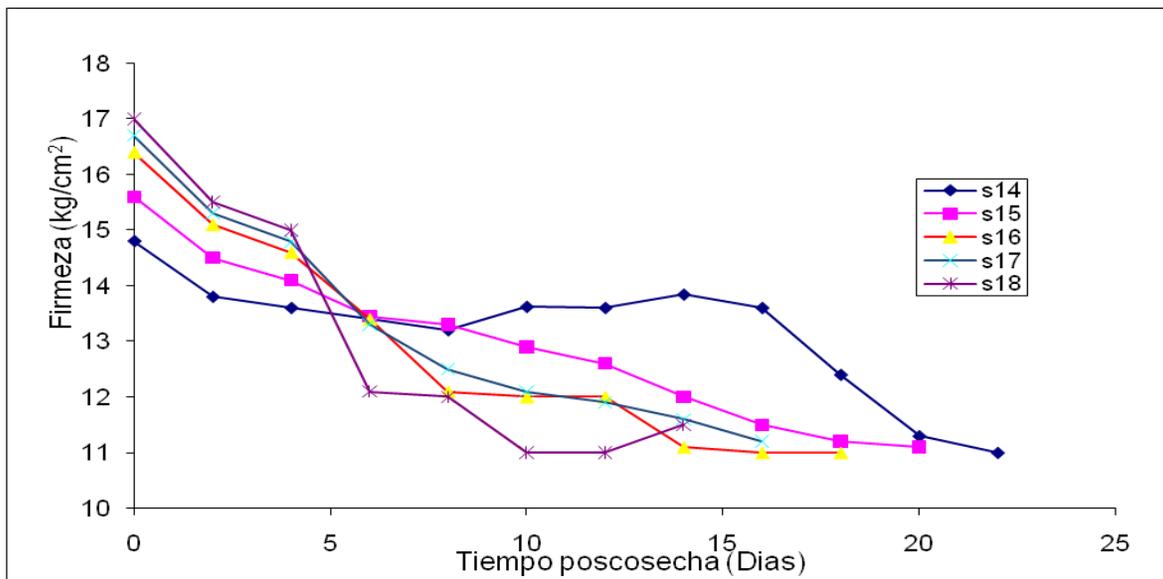
La Figura 4-5 muestra para la firmeza valores máximos el día de cosecha de 14.8, 15.6, 16.4, 16.7 y 17  $\text{kg/cm}^2$  para los frutos de 14, 15, 16, 17, y 18 semanas desde floración respectivamente; los valores y el comportamiento son similares a los encontrados por Barrera (2010) para plátano hartón quien reporta valores entre 18  $\text{kg/cm}^2$  y 7  $\text{kg/cm}^2$ , Jaiswal (2012), para banano, reporta valores de 40 N para el fruto verde y 15 N para fruto maduro con descenso rápido el día 4 de

poscosecha. Giraldo (2002) reporta valores entre 22 N/seg y 5 N/seg, Arrieta *et al.* (2006) para plátano cv. Popocho reporta valores entre 14.4 kg/cm<sup>2</sup> y 4.5 kg/cm<sup>2</sup>.

Existe una relación directa entre la edad de cosecha y la dureza del fruto aunque no es muy marcado después de la semana 16 desde floración; el comportamiento muestra que los frutos de 16, 17 y 18 semanas desde floración tienen ventajas en el momento de la manipulación poscosecha por tener mayor resistencia; se pudo observar un descenso permanente durante la poscosecha, los frutos de mayor edad alcanzan menor dureza. Estadísticamente hay independencia de la firmeza con la edad de cosecha aunque existan valores diferentes y dependencia estadísticamente significativa con el tiempo poscosecha.

Se sabe que esta característica en los frutos depende del efecto de las enzimas sobre la pectina y el almidón, durante este proceso la protopectina es degradada a fracciones de peso molecular más bajo y más solubles en agua, lo que ocasiona el ablandamiento de la fruta. El 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 corteza o cáscara hacia la pulpa del fruto debido al proceso de ósmosis como afirman Azcón-Bieto y Talón (2009).

**Figura 4.5** Variación de la firmeza para plátano Dominico Hartón a cinco edades de cosecha, almacenados a 22 °C y 80% HR.



### 4.2.3 Rendimientos (pulpa/cáscara)

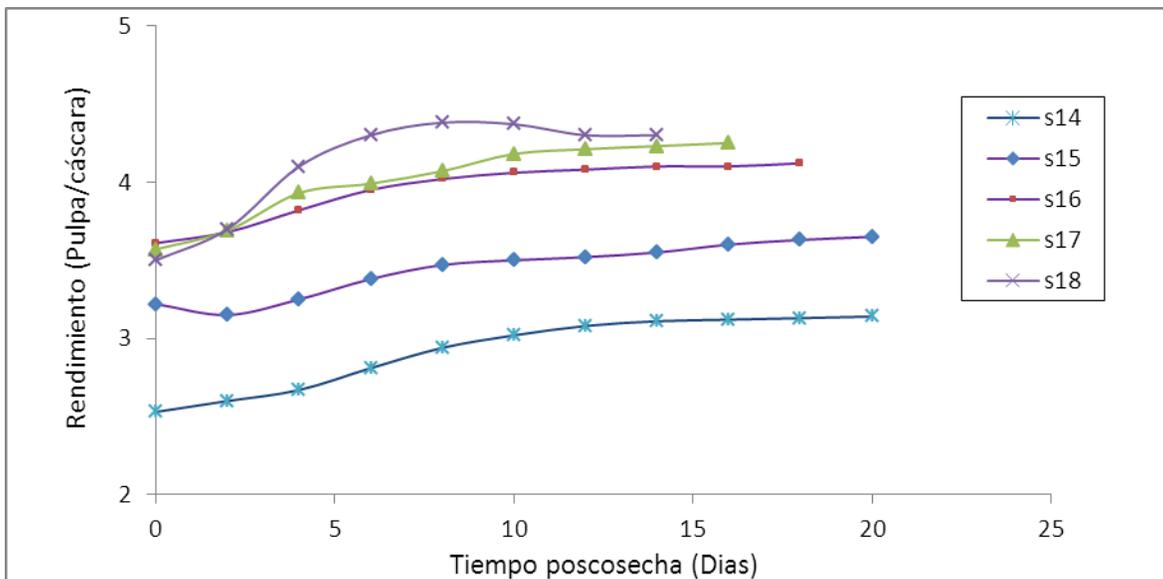
La Figura 4.6 presenta los resultados de esta relación. Los valores de pulpa mostraron valores promedio más altos a partir de la semana 16 desde la floración, se vio que los frutos cosechados a la semana 16 presentaban los valores promedios más altos al momento de cosecha y a partir del día 2 de poscosecha los frutos de la semana 18 presentaron valores mayores; en sobremaduración los frutos de 16, 17 y 18 semanas tienden a alcanzar valores similares. Esto puede explicarse porque los frutos de mayor edad de cosecha dispusieron de más tiempo para almacenar los fotoasimilados producidos por la planta.

Las pruebas comparativas de valores medios con significancia del 95% reportaron incidencia de la edad de cosecha y del tiempo poscosecha en el comportamiento de la variable, los cambios fueron estadísticamente significativos.

Arrieta (2006), para plátano popocho encontró variaciones entre 1.1 al momento de cosecha y 1.6 sobremaduro, además que varía con la edad de cosecha hasta

un 12%. Pur (2009) para *Musa paradisíaca* y Dadzie (1997) para otros híbridos de musáceas, el incremento en la relación pulpa/cáscara en el momento de cosecha no es muy marcado a partir de la semana 16 desde floración, se observa un crecimiento de dicha relación, en la poscosecha, por la pérdida de humedad principalmente de la cáscara del fruto. Para esta variable, todos los tratamientos evaluados presentaron un comportamiento análogo en cuanto a la reducción progresiva del peso fresco y aumento de la relación pulpa/cáscara a medida que el fruto pasaba por sus estados de maduración. Estos resultados contrastan con los obtenidos por Barrera (2010), quien afirma que durante el proceso de maduración el contenido de humedad de la pulpa aumenta, debido a la hidrólisis del almidón y al movimiento osmótico del agua de la cáscara hacia la pulpa y por la concentración más rápida de azúcares en la pulpa, incrementando la relación de peso pulpa/cáscara.

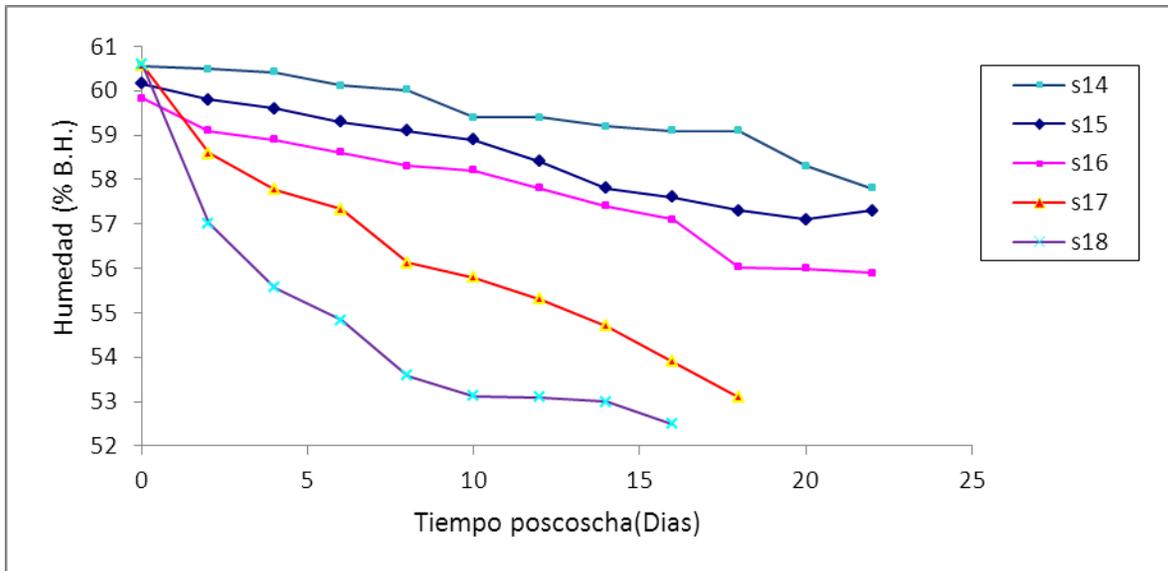
**Figura 4.6** Relación pulpa/cáscara de plátano Dominico Hartón a cinco edades de cosecha, almacenado a 22°C y 80% de HR.



#### 4.2.4 Humedad

La Figura 4.7 presenta los resultados para humedad, en frutos de plátano expresados como % en base húmeda.

**Figura 4.7** Evolución de la humedad durante la poscosecha de plátano Dominico Hartón a cinco edades de cosecha, almacenadas a 22°C y 80% de HR.



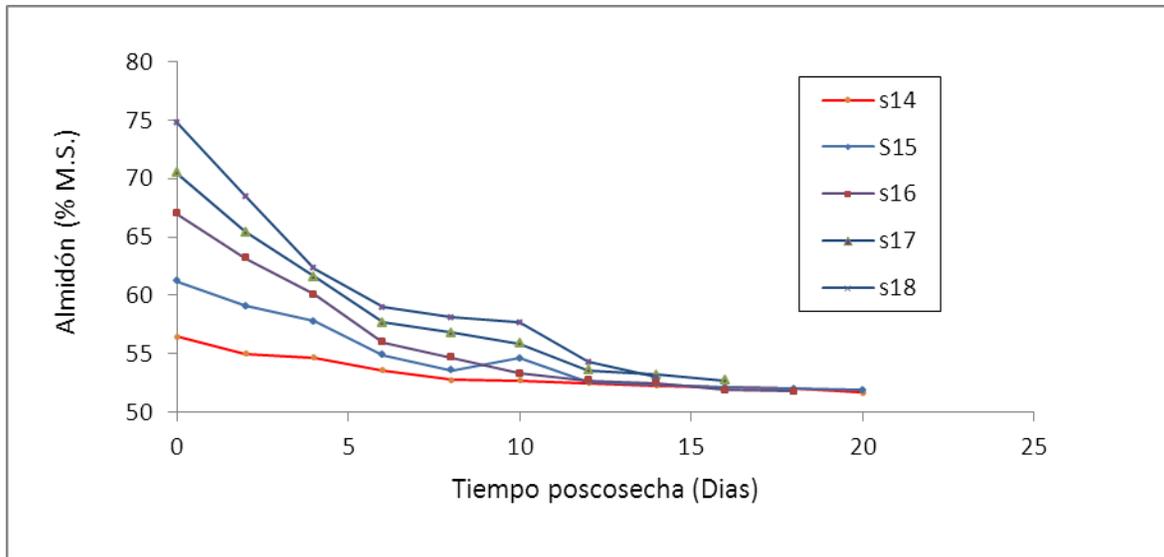
De acuerdo a la Figura 4.7, la humedad de la pulpa desciende desde el momento de cosecha siendo mayor la pérdida en los productos de mayor edad, el % de humedad descendió desde 60.58 hasta 52.5 siendo mayor la pérdida en los frutos de mayor edad de cosecha, Barrera (2010) encontró valores del orden de 60.6 % y variación con la edad de cosecha de 10,7%, el análisis de datos al 95% de confianza mostró alta significancia estadística para el comportamiento de la variable con respecto a la edad de cosecha y al tiempo poscosecha en congruencia con la mayor área del fruto para la transferencia de masa.

#### 4.2.5 Almidón

Según la Figura 4. existe una relación directa entre la edad de cosecha y la concentración de almidón, se encontraron valores de 56.5, 61.2, 67, 70.5 y 74.8 % M.S. para los frutos de 14, 15, 16, 17 y 18 semanas desde la floración respectivamente, hasta alcanzar su estado de maduración los descensos porcentuales encontrados fueron de 4.8, 9.3, 15.2, 17.8 y 21.8 respectivamente, en concordancia con Firmín (1991), quien encontró en los frutos verdes de plátano concentraciones de almidón de 77.5%, en frutos maduros de 36% y de 2.1% en muy maduros; así mismo Arcila *et al.* (2002) para Dominico hartón en la región cafetera, reporta valores promedio de 75% al momento de cosecha, 70% maduro y 69 % sobremaduro, de igual forma Barrera (2010) halló una reducción de almidón del orden del 50% durante la maduración y un aumento de azúcares en la pulpa de plátano hartón. El análisis de varianza mostró alta significancia estadística con respecto a la edad de cosecha y al tiempo poscosecha, como afirman Azcón –Bieto y Talón (2009), esta tendencia afecta el comportamiento de las otras variables.

Los comportamientos de la variable indican que la mayor transformación de almidón a azúcares ocurre hacia los estados finales de maduración de los frutos y se observa que los frutos de menor contenido en el momento de cosecha presentan valores inferiores en el estado maduro; las concentraciones de almidón al momento de la cosecha y durante la poscosecha son producto de factores genéticos o interacción ambiental, la mayor síntesis de azúcares hacia el final del climaterio obedece a la mayor hidrólisis de almidones e indica cambios acentuados en la actividad respiratoria del fruto.

**Figura 4.8** Almidón como % MS en plátano Dominico Hartón a cinco edades de cosecha, almacenado a 22°C y 80% H.R.



#### 4.2.6 Sólidos solubles totales, acidez y pH

Los factores físicoquímicos más relevantes en la calidad de la fruta son la concentración de los sólidos solubles totales, la acidez total y el pH, los cuales se relacionan con el contraste de dulzura y acidez característica de la fruta, los °Brix al momento de cosecha presentan valores muy similares del orden de 2.5, aumentan durante todo el tiempo poscosecha de manera lenta hasta 2 o 3 días antes de maduración total, luego se acelera. En senescencia los °Brix alcanzaron valores de 22.5, 22.6, 22.8, 23.4 y 24.1 para los frutos de 14, 15, 16, 17 y 18 semanas desde floración, existe una variación directamente proporcional a la edad de cosecha. Los valores reportados de °Brix concuerdan con los valores reportados por Barrera (2010) para Hartón( entre 2.5 y 33), con Arcila (2002) para Dominico hartón según la posición en el racimo (entre 5.5 y 18.7) y con Silva *et al.* (2009) para FHIA-21; discrepan de los resultados encontrados por Osuna-García (2008) para cuatro cultivares de musáceas quienes reportan valores entre 2 y 14.

La acidez presentó valores de 0.22, 0.25, 0.3, 0.35 y 0.4 como % de ácido málico para los frutos de 14, 15, 16, 17 y 18 semanas de cosecha, pero la evolución en el tiempo es creciente y mayor para los frutos de más edad, alcanzándose valores máximos los días de maduración total así: 0.99, 1.1, 1.22, 1.21 y 1.25 como % de

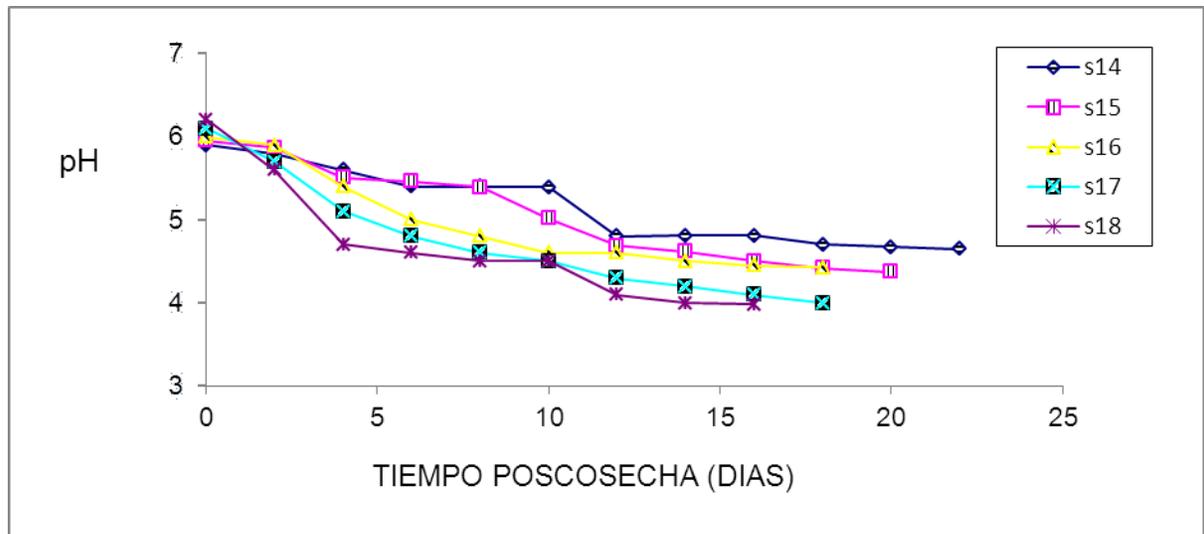
ácido málico en orden de edad de cosecha; se puede apreciar que la evolución es mucho mayor para los frutos de 18 semanas, luego de maduración total desciende para alcanzar valores de 0.88, 0.89, 0.89, 0.93 y 0.95 como % de ácido málico respectivamente. Barrera (2010) reporta valores de 0.1 a 0.45 % A.M. para Dominico hartón; Arcila (2002), halló para Dominico hartón valores de 0.25 a 0.95 % A.M.

Como consecuencia de la evolución de la acidez el pH descendió todo el tiempo, presentando valores más bajos los frutos de mayor edad de cosecha como se aprecia en la figura 4.9 los valores encontrados oscilan entre 6.2 al momento de cosecha y 3.98 en sobremaduración en concordancia con Arcila (2002) quien encontró valores entre 6.1 y 4.0; Barrera (2010) halló para plátano Hartón valores entre 6.4 y 5.0.

El anova al 95% de confianza mostró que para los sólidos solubles y la acidez hay incidencia estadísticamente significativa de la edad de cosecha y tiempo poscosecha, para el pH hay independencia con la edad de cosecha pero dependencia estadísticamente significativa con el tiempo poscosecha, ver Anexo A.

El comportamiento de las variables es típico de los frutos climatéricos, aspecto que evidencia la gran actividad metabólica que involucra las  $\alpha$  y  $\beta$  amilasas, las cuales durante la maduración, hidrolizan el almidón a carbohidratos más simples del tipo disacáridos y monosacáridos (sacarosa, glucosa y fructosa, mayoritariamente) como afirma Kader, (2002).

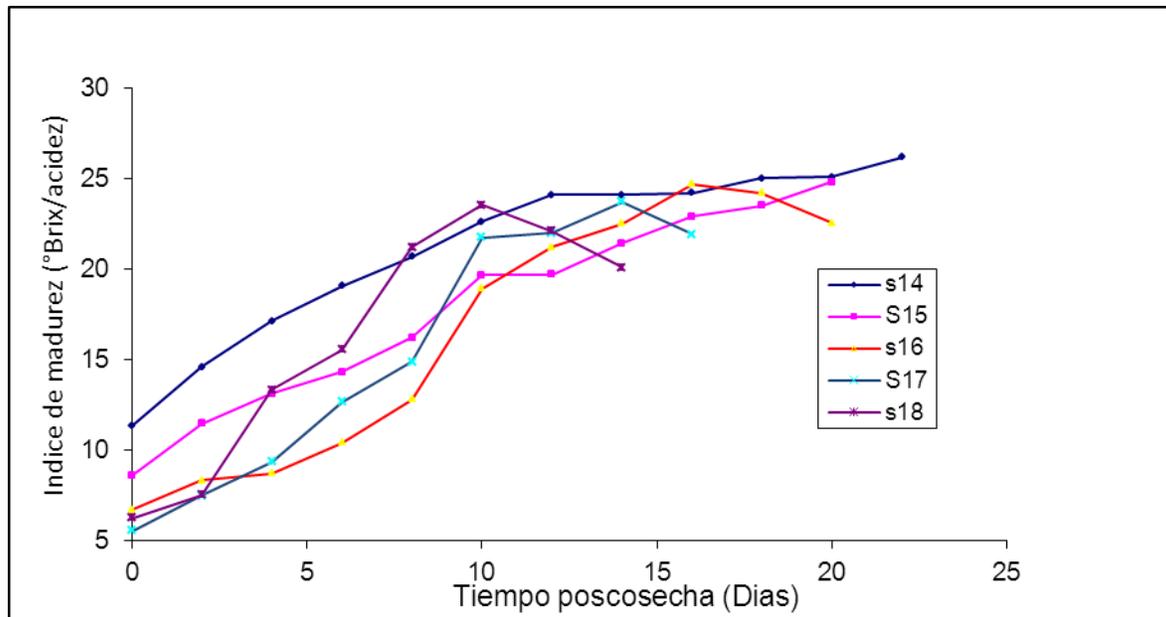
**Figura 4.9** Comportamiento del pH de plátano Domingo Hartón a cinco edades de cosecha, almacenado a 22°C y 80% H.R.



#### 4.2.7 Índice de madurez (°Brix/Acidez)

El comportamiento del índice de madurez en la Figura 4.10 deja ver un comportamiento creciente acelerado hasta los días de maduración total con una leve desaceleración hasta el inicio de la sobremaduración, luego desciende más rápido para los frutos de mayor edad de cosecha; el índice de madurez presentó valores máximos de 26.18, 24.8, 24.7, 23.7 y 23.52 para los frutos de 14, 15, 16, 17 y 18 semanas respectivamente. De Arcila 2002 se calculan valores entre 28.4 y 31.6. Los frutos de mayor edad tienen mayor actividad enzimática, los °Brix finales son menores a menor edad de cosecha, pero la acidez aumenta en menor proporción, razón por la cual el índice de madurez, al final del proceso de maduración, es mayor para los frutos de menor edad, su comportamiento concuerda con lo reportado por Nascimento Jr. (2008), para dos cultivares de plátano. El análisis estadístico de los datos al 95% muestra dependencia estadísticamente significativa con el tiempo de cosecha y con los días poscosecha.

**Figura 4.10** Evolución del índice de maduración (°Brix/acidez) para plátano Dominico Hartón a cinco edades de cosecha, almacenado a 22 ° C y 80% de HR.



#### 4.2.8 Composición Mineral

Las concentraciones promedio de Fe, Ca y P fueron de 39 ppm, 15 ppm y 34 ppm respectivamente para las cinco edades de cosecha durante la vida útil de los frutos; su concentración no depende de la edad de cosecha ni poscosecha en concordancia con Abbas (2012); Arcila (2002) en plátano África reporta 24 ppm para P y 15 ppm para Ca. Arcila (2002), para Dominico hartón cultivado en la región cafetera, reporta que la cantidad de Fósforo>Calcio>Hierro y que se mantiene su concentración en el tiempo poscosecha, Adepoju (2012) para musa paradisiaca halló también que la concentración de Fósforo>Calcio>Hierro (220>126>2.56 en mg/100g). El contenido de nutrientes y especialmente de minerales de las frutas varía en función de la especie cultivada, las características del suelo, la climatología y las prácticas agrícolas como afirman Foster *et al.* (2003) y Wall (2006).

### 4.3 Incidencia del tiempo de cosecha en los estados fisiológicos y vida útil del producto para consumo verde y maduro

En el proceso de maduración de los plátanos, la producción de etileno endógeno se incrementa de forma continua, como confirman los análisis efectuados. La tasa de respiración experimenta un incremento transitorio asociado con el aumento de la producción y la sensibilidad al etileno, la tasa de respiración sufre un descenso luego de que el fruto alcanza el estado pintón, que obedece al período de crisis climatérica del plátano, en que los requerimientos energéticos para desarrollar los cambios físicos, químicos y bioquímicos en el fruto son mayores. La variabilidad en la tasa de respiración a través de todo el periodo de almacenamiento no interfiere en el aumento de la producción de etileno, al momento de cosecha y durante la poscosecha es mayor en los frutos de más llenado (hechos). Existe una correlación negativa entre la producción de etileno en plátanos durante su maduración y el tiempo de vida útil, así como entre la producción de etileno del fruto verde y la duración de este estado, antes del comienzo de la maduración.

El análisis instrumental y la observación visual indican un sensible deterioro del color externo y la apariencia de los plátanos durante el almacenamiento para todas las edades de cosecha, Los cambios en los parámetros instrumentales  $-L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ - son más apreciables cuando el plátano pasa a pintón; en la fase intermedia y final del proceso de maduración del fruto se aceleran y los principales pigmentos, el caroteno y la xantofila, se hacen más evidentes. El aumento de la luminosidad  $L^*$  en los primeros días poscosecha fue prácticamente imperceptible, incrementándose al final del almacenamiento. El parámetro  $a^*$  mostró mayor aumento con la tendencia a la desaparición progresiva del color verde de los frutos y con el desarrollo del periodo climatérico. Los valores del parámetro  $b^*$  al inicio del proceso de maduración, corresponden a un amarillo poco puro, que

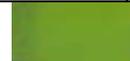
tiende con el transcurso del almacenamiento, a una mayor pureza y homogeneidad; en los frutos de menor edad aparecen manchas apreciables. Este comportamiento, es el responsable del ascenso del parámetro  $\Delta E$  antes de maduración total y el descenso posterior, en concordancia con el cambio marcado del croma con los días de maduración total.

Dado que la principal característica, para el consumidor determinar el uso culinario e industrial del plátano, es el color, se puede afirmar que los productos de 14, 15, 16, 17 y 18 semanas, desde floración hasta el momento de cosecha se conservan verdes hasta los días 8, 6, 4, 2 y 2, con SST de 2.5, 3.0, 3.5, 4.5 y 7.2 respectivamente; el valor de °Brix para los frutos de 14 semanas al día 8, indica que el color no coincide con el grado de maduración, si la edad fisiológica no es adecuada. Los días para maduración total se muestran en la figura 4.11.

El climaterio se alcanza cuando el fruto está pintón y se presenta los días 18, 16, 14, 9, y 7 desde cosecha, para los frutos de 14, 15, 16, 17, y 18 semanas respectivamente, de igual forma la vida útil como maduro va hasta los días 22, 22, 16, 14 y 14 de poscosecha respectivamente. Los frutos de menor edad no presentan una apariencia visual aceptable y la pulpa se adhiere fuertemente a la cáscara, el comportamiento observado es similar al encontrado por Kheng (2012) para banano.

Tomando el color verde del fruto a las 15 semanas y el color maduro a las 18 semanas desde floración, se planteó, la tabla de colores que abarca las tonalidades representativas de los frutos que tienen calidad aceptable, durante su vida útil (Tabla 4-2). Se observa que para los frutos de menor edad de cosecha, el estado verde-claro es el de mayor duración, igual a lo encontrado por Arcila *et al.* (2000) y Barrera *et al.* (2006) para plátano Dominico hartón.

**Tabla 4.2** Tabla de colores propuesta para plátano Dominico Hartón.

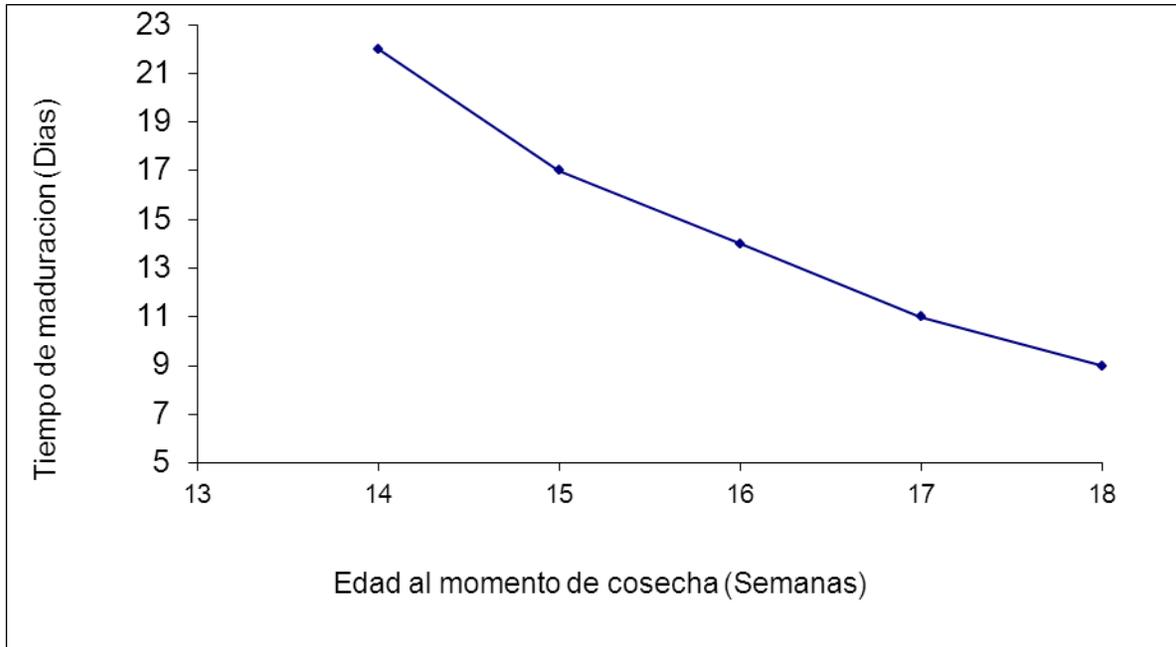
DIAS POS COSECHA	0	2	4	6	8	10	12
COLOR							

Desde el punto de vista de la resistencia del fruto a la punción, existe una dependencia directa hasta la semana 16. Para el rendimiento, la relación pulpa/cáscara depende de la edad de cosecha, es decir en etapas tempranas la cáscara tiene mayor grosor, una vez cosechados dicha relación se mantiene casi para todas las edades de cosecha, incluso alcanzan igual valor como plátano verde, pero con el avance de la maduración la pulpa se engrosa y la cáscara disminuye su peso, aunque el rendimiento se hace mayor para los frutos más hechos. Dichos cambios se atribuyen a la conversión de celulosa y hemicelulosa de la cáscara a almidón y a la disminución de la protopéctina insoluble y el aumento de la pectina soluble en agua, este fenómeno se asocia con el ablandamiento de la pulpa (Konopacka y Plochanski, 2004).

Durante el desarrollo y maduración del plátano los cambios más marcados son el contenido de almidón, SST y acidez, se observa que el contenido de almidón es proporcional a la edad de cosecha y su incremento es marcado hasta la semana 16 desde floración, paralelamente el contenido de sólidos solubles aumenta y la acidez disminuye; durante el preclimaterio, la acidez aumenta alcanzando un valor máximo durante o después del periodo climatérico, por eso el pH disminuye hasta el posclimaterio al igual que en banano como afirma Tapre (2012). El cambio químico más notorio durante la maduración del plátano, es la hidrólisis del almidón y la acumulación de azúcares es del orden del 25% para frutos hechos y del 20% para frutos cosechados a edad temprana; se presume que la disminución de este carbohidrato se utiliza en el proceso de respiración (Kader, 2002). Los valores encontrados concuerdan con Arcila (2002) para Dominico hartón (25%).

Como índice de madurez al momento de cosecha se puede aceptar como criterio la estabilización del crecimiento y llenado del fruto, la disminución de la angularidad, la relación pulpa/cáscara y la concentración de sólidos solubles, además del color, esto con el fin de determinar el estado de crecimiento y los mercados objetivos de los diferentes lotes de producto, en el caso de predecir la edad de maduración por edad de cosecha se puede utilizar la fig. 4.11.

**Figura 4.11** Días poscosecha para que el Plátano Dominico Hartón, almacenado a 22°C y 80% de HR, alcance el color amarillo.



## CONCLUSIONES

Como respuesta a los objetivos propuestos en la investigación y en función de los resultados encontrados, para la caracterización fisiológica de los frutos de Dominico Hartón a cinco edades de cosecha, almacenados a 22°C y 80% de H.R. en poscosecha, se concluye:

- El plátano Dominico hartón mostró en precosecha crecimiento significativo en peso hasta la semana 16, el crecimiento posterior no es relevante dado que es del 1.5% en promedio para la semana 17 y del 1.65% para la semana 18, referidos a la semana 16, por eso puede considerarse que la edad adecuada de cosecha o hasta la cual hay crecimiento significativo es la semana 16.
- Los frutos cosechados se conservaron verdes, desde el punto de vista de color hasta los días 2, 4, 4, 8 y 10 después de cosecha para las semanas 14, 15, 16, 17 y 18 respectivamente, según las coordenadas de color L\*, a\* y b\*, estas posibilitan clasificar el estado de madurez fisiológica de los frutos de plátano Dominico hartón y muestran que la edad de cosecha adecuada es la semana 16 con buenas características físicas, químicas y de vida útil.
- Al momento de cosecha el rendimiento expresado como pulpa/cáscara es directamente proporcional a la edad de cosecha, después de la semana 16 la ganancia es del orden del 0.1 %; como producto maduro los frutos de 18 semanas presentan una relación 0.6 % mayor que los de 16 semanas. La pérdida fisiológica de peso, presentó un comportamiento continuo hasta la etapa de sobremaduración con pérdidas del orden del 8%.
- La producción de etileno tuvo un comportamiento creciente durante la poscosecha, con picos sobresalientes en los días 7, 9, 14, 16 y 18 para los frutos

cosechados a las semanas 18, 17, 16, 15 y 14 respectivamente y coincidentes con los picos climatéricos de la respiración. Se pudo establecer que el pico climatérico representativo para la etapa de poscosecha coincide con el estado pintón y este se presenta aproximadamente dos días antes de maduración total en los frutos de 16 semanas o más.

- Dentro de la determinación experimental de la firmeza se observó, en el momento de corte, un comportamiento creciente directamente proporcional a la edad de cosecha; sobresale un máximo para los frutos de 18 semanas, el comportamiento en poscosecha es decreciente continuo y en estado maduro la firmeza es menor para los frutos de mayor edad de cosecha. El conocer la fuerza máxima de ruptura o de fractura genera información útil en almacenamiento, transporte, empaque y comercialización, previniendo el deterioro físico del producto.
- Los valores encontrados, al momento de cosecha, para la calidad físico-química en cuanto SST, acidez total expresada como ácido málico y pH, humedad y almidón se encuentran dentro de los rangos reportados en la literatura, durante la maduración se encontró un comportamiento normal de las variables excepto la pérdida de peso que fue menor que las reportadas por otros autores.
- El porcentaje de almidón, en base húmeda al momento de cosecha, aumenta notoriamente hasta la semana 16, a partir de esta edad tiene una ganancia del orden del 6 %, la diferencia se mantiene hasta maduración, esta misma variación se puede esperar en el rendimiento para uso industrial; desde maduración, los frutos de las diferentes edades de cosecha, tienden a alcanzar valores similares en el contenido de almidón como % B.S. El contenido de humedad disminuye en el tiempo poscosecha y el contenido de minerales se mantiene constante en base seca.

- Por el comportamiento de las variables antes mencionadas, se puede afirmar que los frutos cosechados a la semana 16 permiten ser transportados a los mercados objetivo y proporcionan adecuados tiempos de vida útil (verde y maduro), rendimientos p/c y apariencia adecuada.
- Los colores contemplados entre el color verde claro de los frutos de 15 semanas desde floración y el color amarillo con manchas marrón de los frutos de 18 semanas desde floración, cubren el rango observado y por tal se pueden establecer como tabla guía para los productores e industriales determinar el estado de maduración y la vida útil del plátano Dominico hartón (verde y maduro).
- El trabajo muestra que hay aspectos fisiológicos, físicos y químicos que dependen de la edad de cosecha, de las condiciones de almacenamiento y de las condiciones agroclimáticas, en general se puede afirmar que estos aspectos dependen de la interacción entre el genotipo y los factores ambientales, esta interacción puede variar bajo condiciones edafológicas y climáticas.
- Por los aspectos mencionados la información generada constituye, para los productores del municipio de Belalcazar (Caldas), un soporte para determinar la edad de cosecha según el mercado objetivo y el consumo verde o maduro, además de dar información acerca de los rendimientos del producto que no cumple los requerimientos para consumo en fresco, con el fin de establecer nuevos mercados para uso industrial.

## RECOMENDACIONES

- Realizar estudios similares para otras variedades cultivadas en la región, así como en otras regiones del país con gran producción como los llanos orientales, el Quindío, etc. con las variedades de mayor producción.
- Estudios similares a condiciones de almacenamiento de otros mercados objetivo.
- Otros estudios con respecto al efecto del transporte y almacenamiento con relación a su resistencia al corte, compresión, etc.
- Estudios de calidad sensorial en las diferentes recetas culinarias, verde y maduro, para las edades de cosecha.

## REFERENCIAS

ABBAS, K. A, ABDUL-WAHED, M. Sh. Relationship between the physiological disorder "CHOKER" and fruit content of humidity, dry matter and calcium in iraqi banana fruits cultivated in Basrah region Journal of education of college. vol. 2 no. 2, April /2012.

ADEPOJU,O.T, SUNDAY, B.E, FOLARANMI, O.A. Nutrient composition and contribution of plantain (*Musa paradisiacea*) products to dietary diversity of Nigerian consumers, African Journal of Biotechnology Vol. 11(71), 4 September, 2012, p. 13601-13605.

ANDERSON, T.L. Fracture mechanics: Fundamentals and applications. United States: CRC, 2000, p. 793.

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). Official methods of analysis of the association of official analytical chemists. 11<sup>a</sup> Edition. Washington, 1970.

Arcila, M., Giraldo, G., y Duarte, J. Influencia de las condiciones ambientales sobre las propiedades físicas y químicas durante la maduración del fruto de plátano Dominico-Hartón (*Musa AAB Simmonds*) en la zona cafetera central. En: Cayón, G. (Ed.). Poscosecha y agroindustria del plátano en el eje cafetero de Colombia. CORPOICA. Comité de cafeteros del Quindío. Universidad del Quindío. Asiplat-Colciencias, FUDESCO. Armenia (Colombia). 2000; p. 101-124.

ARCILA, P., M I. Poscosecha, industrialización y uso de subproductos del plátano "Módulo IX, Corpoica regional nueve, Armenia 2002.

ARRIETA, A. J.; BAQUERO, U. M.; BARRERA, J. L., Caracterización fisicoquímica del proceso de maduración del plátano Popocho (*Musa ABB Simmonds*). Agron. Col. 24(1):2006; p 48-53.

ARTES, H.F. Instalaciones de prerrefrigeración de productos vegetales. En: Curso Internacional de Tecnología Poscosecha y Procesado Mínimo. Cartagena: España. Universidad de Cartagena, 2007.

AYO-OMOGIE, H.N., ADEYEMI, I.A. OTUNOLA, E.T., Effect of ripening on some physicochemical properties of cooking banana (*Musa ABB Cardaba*) pulp and flour, International Journal of Food Science & Technology Volume 45, Issue12, , December 2010; pages 2605–2611.

AZCÓN-BIETO, J., TALÓN, M. 2008. Barrera, J.L. y D.G. Cayón. Contribución fisiológica de las hojas y del epicarpio del fruto del plátano 'Hartón' (*Musa AAB Simmonds*) al llenado y calidad del racimo, Córdoba (Colombia). 2004; p. 13-17.

BERNAL, J.A., C.A. DÍAZ. Tecnología para el cultivo del tomate de árbol. Manual Técnico 3. Ecorregión Andina Centro de Investigación La Selva. Rionegro, Antioquia. 2003.

BHANDE, S.D.; RAVINDRA, M.R. and GOSWAMI, T.K., Respiration rate of banana fruit under aerobic conditions at different storage temperatures. En: Journal of Food Engineering. Vol. 87, No. 1 (2008); p. 116-123.

BARRERA, J. Y CARABALLO, U. Contribución de la cosecha escalonada de frutos del mismo racimo sobre los componentes de producción en el cultivo del plátano Hartón (*Mussa AAB Simmonds*) en los municipios de San Juan de Urabá (Antioquia) y Tierralta (Córdoba). Montería. Universidad de Córdoba. 2006; p. 33 – 34.

BARRERA, J.; CAYÓN, D.; Y ROBLES, J. 2009. Influencia de la exposición de las hojas y el epicarpio de frutos sobre el desarrollo y la calidad del racimo de plátano Hartón (*Musa AAB Simmonds*). Agron. Col. 27(1):73 - 79. ACTA AGRONÓMICA. 59 (1) 2010; p. 20-29.

BARRERA. L.; SEGUNDO, A.; CAYÓN, D.G., Caracterización fisicoquímica y fisiológica del proceso de maduración de plátano Hartón (musa AAB Simmonds) en dos sistemas de producción .Facultad de Ciencias Agrícolas. Grupo Agricultura sostenible, Universidad de Córdoba. 2010.

BELALCÁZAR, S., J.A.; VALENCIA Y J.E. LOZADA., CAPÍTULO 2: La planta y el fruto. pp. 44-89. En: El cultivo del plátano para el trópico. Manual de asistencia técnica N° 50. ICA, UID, Comité de Cafeteros del Quindío. INIBAP, Feriva, Cali (Colombia). 1991; p. 376.

BELALCAZAR C., S.; SALAZAR, C.A.; CAYON S., G; LOZADA, J. E.; CASTILLO, L.E; Valencia M, JA. Manejo de plantaciones. En: El Cultivo del Plátano en el Trópico. Eds. S 1991.

BELALCÁZAR, C.S.; CAYON, S. G.; JARAMILLO, G. O.; CORTES, L. C. (Eds.). Poscosecha, Industrialización y Uso de Subproductos del Plátano, Módulo IX Comité Departamental de Cafeteros del Quindío, Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, IDRC- CIID, INPOFOS, INIBAP, ICA. Armenia, Quindío. Corpoica Regional Nueve .Armenia 2002; p. 110-125

BELLO, L.A.; DE FRANCISCO, A.; AGAMA A., E.; GUTIERREZ M., F.; GARCIA-S., F.J., Morphological and molecular studies of banana starch. En: Food Science and Technology International. Vol. 11, No. 5 (2005); p. 367-372.

BERNAL de R., I., Análisis de alimentos. Bogotá: Guadalupe, 1993; p. 313.

BERNAL, E.A.; DIAZ, C., Tecnología para el cultivo del tomate de árbol. Rionegro: Impresos Begon Ltda., 2003; p. 130.

BRECHT, K.J.; WEICHMANN, J., Postharvest physiology and pathology of vegetables. New York: CRC Press, 2003, p. 733.

CAMACHO, G.; ROMERO, G., Obtención y conservación de pulpas: Mora, guanábana, lulo y mango. Bogota: ICTA - Universidad Nacional de Colombia, 1996; p. 130.

CAPITANI, G.; HOHENESTER, E.; FENG, L.; STORICI, P; KIRSCH, J.; JOHAN, N.J., Structure of 1-aminocyclopropane-1-carboxylate synthase, a key enzyme in the biosynthesis of the plant hormone ethylene. En: J. Mol. Biol. Vol. 294, No. 3 (1999); p. 745-756.

CARA, B.; GIOVANNONI, J., Molecular biology of ethylene during tomato fruit development and maturation. En: Plant Science. Vol. 175, No. 1-2 (2008); p. 106-113.

CAYÓN, D.G., G.A. GIRALDO Y M.I. ARCILA, Fisiología de la maduración. En: Poscosecha y agroindustria del plátano en el Eje Cafetero de Colombia. Corpoica, Comité de Cafeteros, Universidad del Quindío, ASPLAT, Colciencias, Fudesco, Armenia (Colombia). 2000, p 27-37.

CAYON, D.G., Ecofisiología y productividad del plátano (Mussa AAB Simmonds), XVI REUNIÓN INTERNACIONAL ACORBAT 2004.

CCI (Corporación Colombia Internacional, CO). Análisis internacional del sector hortofrutícola para Colombia. Universidad de los Andes, Facultad de Administración. 1994.

CHAVES, S.A.; MELLO-FARIAS, C.P. Ethylene and fruit ripening: From illumination gas to the control of gene expression, more than a century of discoveries. En: Genetics and Molecular Biology. Vol. 29, No. 3, (2006); p. 508-515.

CIRO, V. H.; BUITRAGO, G.O. y PEREZ, A.S. Estudio preliminar de la resistencia mecánica a la fractura y fuerza de firmeza para fruta de uchuva (*Physalis peruviana* L.). En: Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín. Vol. 60, No. 1 (2007); p. 3785-3796.

COX, A.K., Skin colour and pigment changes during ripening of Hass avocado fruit. En: Postharvest Biology and Technology. Vol. 31, No. 3 (2004); p. 287-294.

CRUZ-MEDINA, J. *et al.*, Efecto de la aplicación de metil jasmonato sobre la fisiología postcosecha de pina (*Ananas comosus* Cv. MD-2) y su relación con el daño por frío. En: V Congreso iberoamericano de tecnología poscosecha y agroexportaciones. Cartagena-España: Universidad de Cartagena, 2007; p. 12.

DADZIE, B.K.; ORCHARD, J.E., Evaluación rutinaria poscosecha de híbridos de bananos y plátanos: criterios y métodos. Guías técnicas INIBAP 2. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Roma, Italia; Red Internacional para el Mejoramiento del Banano y el Plátano, Montpellier, Francia, 1997; p. 76.

DELGADO, C. G.; CASTILLO, A. M.; GONZÁLEZ, E.; GARCÍA, A.; ARRIAGA, M., Contenido de carbohidratos en hojas de inflorescencias de tres cultivares de aguacate (*Persea americana* Mill.).1997

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. Boletín estadístico. Oficina de Prensa. Bogotá D.C.: DANE. 2008; p. 62.

ENA 2011, Encuesta nacional agropecuaria, [www.dane.gov.co/files/investigaciones/.../ena/boletin\\_ena\\_2011.pdf](http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/.../ena/boletin_ena_2011.pdf)

FAO. Manual de manejo poscosecha de frutas tropicales, 2007, Disponible en <http://www.fao.org/inpho/content/documents/vlibrary/ac304s/ac304s00.htm>.

GALLO, F. Manual de fisiología, patología poscosecha y control de calidad en frutas y hortalizas. Armenia: NRI, SENA, DFID, 1997; p. 406.

GARCIA, D.; PRADERES, G., Cátedra de tecnología de frutas y hortalizas: transpiración. Caracas: Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, 2009; p. 12.

GIRALDO, G.; BELTRAN G. D. Caracterización fisicoquímica de la maduración del plátano Dominic Hartón (*Musa AAB Simmonds*) Rev. Invest. Univ. Quindío Armenia – Colombia, 2011; p. 166 – 170.

GOÑI I.; GARCÍA-ALONSO, A., SAURA-CALIXTO F “A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index”, *Nutr. Res.*, 17, 427 (1997)

GOULAO, L.F.; OLIVEIRA, C.M. Cell wall modifications during fruit ripening: when a fruit is not the fruit. *Trends in Food Science and Technology*. 19. 2008; p. 4-25.

GUYLENE, A.; GINIES, C., Comparative study of free and glycoconjugated volatile compounds of three banana cultivars from French West Indies: Cavendish, Frayssinette and Plantain, *Food Chemistry*, Volume 129, Issue 1, November 2011; Pages 28–34.

GRANDA R.; Diana M.; MEJÍA G.; Amanda I.; JIMÉNEZ T., Gloria A. Utilización de residuos de plátano para la producción de metabolitos secundarios por

fermentación en estado sólido con el hongo *Lentinus crinitus* Vitae, Universidad de Antioquia Colombia, Vol. 12, Núm. 2, marzo, 2005; p. 13-20.

GREEF, J.; PROFT, M.; WINTER, F., Gas chromatographic determination of ethylene in large air volumes at the fractional parts-per-billion level. En: Analytical Chemistry. Vol. 48, No. 1 (1976); p. 38-41.

GUTIERREZ V., A.; LOPEZ M., M., Manejo poscosecha y comercialización del tomate de árbol. ICA, 1999; p. 200.

HASLINDA, W. H.; CHENG, L. H. Chemical composition and physicochemical properties of green banana (*Musa acuminata* × *balbisiana* Colla cv. *Awak*) flour, International Journal of Food Sciences and Nutrition, 2009, Vol. 60, No. s4: Pages 232-239.

HERNANDEZ, L.F.; BELLES, A.C., A 3-D finite element analysis of the sunflower (*Helianthus annuus* L.) fruit. Biomechanical approach for the improvement of its hullability. En: Journal of food engineering. Vol. 78, No. 1 (2007); p. 861-869.

HERNANDEZ, M.S. Postharvest quality of arazá fruit during low temperature storage. En: Food Science and Technology. Vol. 42, No. 3 (2009); p. 879-884

ICONTEC (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación). NTC No.1190. Bogotá, 1997.

ICONTEC (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación). 1996. Bogotá D.C. Normas Técnicas Colombianas NTC 4086. NTC, 4103, 1997; p.14.

IRIS, P.A.; CARPITA, N.C., Galactosidasas y la dinámica de la pared celular, Interciencia VOL. 31 N° 7, 2006.

INFOAGRO. El cultivo del plátano (1a. parte)  
[http://www.infoagro.com/frutas/frutas\\_tropicales/platano.htm](http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/platano.htm) .2005

JAISWAL, P., SHYAM, N. J. Prediction of textural attributes using color values of banana (*Musa sapientum*) during ripening. Journal of Food Science and Technology January 2012.

KADER, A.A., (ed.). Postharvest technology of horticultural crops. 3th edition. University of California, Agricultural and Natural Resources, Publication 3311. Oakland, California. 2002; p. 55-62.

KHENG, T. Y., DING, P., Determination of optimum harvest maturity and physico-chemical quality of Rastali banana (*Musa* AAB Rastali) during fruit ripening. Journal of the Science of Food and Agriculture Volume 92, Issue 1, 15 January 2012; pages 171–176.

KONOPACKA, D. and PLOCHARSKI, W.J. Effect of storage conditions on the relationship between apple firmness and texture acceptability. En: Postharvest Biology and Technology. Vol. 32, No. 2 (2004); p. 205-211.

LALEL, Z. SINGH and TAN, S.C. Effects of maturity stage at harvest on fruit ripening, quality and biosynthesis of aroma volatile compounds. En: Journal of Horticultural Science & Biotechnology. Vol. 78, No. 4 (2003); p. 225-233.

LAMMERTYN, J., A respiration-diffusion model for conference f. pears. I. Model development and validation. En: Postharvest Biology and Technology. Vol. 30, No. 1 (2003); p. 29-42.

LANA, M.M.; TIJSKENS, L.M. and KOOTEN, V.A. Modelling RGB colour aspects and translucency of fresh-cut tomatoes. En: Postharvest Biology and Technology. Vol. 40, No. 1 (2006); p. 15-25.

LIU, S. Effects of CO<sub>2</sub> on respiratory metabolism in ripening banana fruit. En: Postharvest Biology and Technology. Vol. 33, No. 1 (2004); p. 27-34.

LUCANGELI, C. y MURRAY, R. Tecnología de poscosecha. El etileno, un gas para tener en cuenta. San Pedro-Buenos Aires: Argentina. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 1998; p 134-139.

MARRIOTT, J & GEORGE, J. B. The effect of humidity in plantain ripening. ScientiaHorticulturae 21:1983; p 37-43.

McCLELLAN, C.A. and CHANG, C. The role of protein turnover in ethylene biosynthesis and response. En: Plant Sci. Vol. 175, No. 1 (2008); p. 24-31.

MEJÍA G., L.F LEÓN A. L, .Determinación del tiempo para cosecha y comportamiento fisiológico poscosecha del banano Gross Michael Manizales, Julio de 2002, Disponible en [www.bdigital.unal.edu.co/1010/1/libardoleonagaton.2002.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/1010/1/libardoleonagaton.2002.pdf)

MELO, E.A.; LIMA, V.L.A.G; Poliphenols, ascorbic acid and total carotenoid contents in common fruits and vegetables, Brazilian Journal of Food Technology, v.9, n.2, 2006; p. 89-94.

MONSALVE, E. Determinación de oligoelementos en pescados de consumo en la Ciudad de Mérida. Venezuela. Trabajo de Investigación a nivel de Educación media Diversificada. [Tesis de Pregrado] Mérida: Universidad de Los Andes; 2001.

NASCIMENTO JR, B.B. *et al.* Diferenças entre bananas de cultivares Prata e Nanicao ao longo do amadurecimento: características físicoquímicas e compostos voláteis. Revista Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v.28, n.3, 2008; p. 649-658.

NUANKAMOL, A., KANOGWAN, S., MANIT, K. Anatomical Changes in Peel Structure of 'Hom Thong' Banana during Fruit Development and Ripening. *Tropical Natural History* 12(2): October 2012; p. 127-136.

ORNELAS-PAZ, J.J.; ELHADI, Y.M. y GARDEA, A.A. Changes in external and internal color during postharvest ripening of "Manila" and "Ataulfo" mango fruit and relationship with carotenoid content determined by liquid chromatography and mass spectrometry. En: *Postharvest Biology and Technology*. Vol. 50, No 2-3 (2008); p. 145-152.

PARRA, C.A.; HERNANDEZ H.J. *Fisiología poscosecha de frutas y hortalizas*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2005; p. 66.

PIMENTEL, R.M. de A. Qualidade pós-colheita dos genótipos de banana PA 42-44 e Prata-Anã cultivados no Norte de Minas Gerais.. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v. 32, n.2, 2010; p. 407-413.

PUR P., B.L. Determinación de la velocidad de formación de Sacarosa en el almacenaje del plátano (*Musa paradisíaca*, variedad Curraré) cultivar AAB en una bodega de materia prima a temperatura ambiente. Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química. Julio 2009.

SALVADOR, A., Physiological and structural changes during ripening and deastringency treatment of persimmon fruit cv. □ Rojo Brillante h. En: *Postharvest Biology and Technology*. Vol. 46, No. 2 (2007); p. 181-188.

SHIGA, T.M. , SOARES, C.A., Ripening-associated changes in the amounts of starch and non-starch polysaccharides and their contributions to fruit softening in three banana cultivars, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, Volume 91, Issue 8, June 2011; pages 1511–1516.

SIERRA, L. El cultivo del banano. Producción y comercio. Pereira: Editorial Gráficas Olímpica. 1993; p. 678.

SILVA, S.O.; SANTOS, S.B.; AMORIM, E.P., Determinação do ponto ideal de consumo de banana cultivar FHIA-21. IN: 5o CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, Guarapari (ES). Anais do 5o V Congresso Brasileira de Melhoramento de Plantas. Viçosa: Sociedade brasileira de melhoramento de Plantas.2009; p. 63.

TAPRE, A.R.; JAIN, R.K. Study of advanced maturity stages of banana. International Journal of Advanced Engineering Research and Studies, Vol. I. Issue III, April-June, 2012 ; page 272-274.

URIBE V., A. Últimos avances en la tecnología del plátano en Colombia, Corpoica 2011 Visión Colombia 2019: II centenario. Bogotá D.C.: Planeta, 2008; p. 60.

VÉLEZ, L., SOTO-VALDEZ, H., GAVARA, R., CATALÁ, R., Efectividad de absorbentes de etileno en la conservación de plátanos. V CONGRESO IBEROAMERICANO DE TECNOLOGÍA POSTCOSECHA Y AGROEXPORTACIONES 2007 .

VERDURA, T. cantidad y calidad antioxidante de alimentos de origen vegetal Alimentaria, 2000; p. 103-110.

VILLAMIZAR, F. Manejo tecnológico poscosecha de frutas y hortalizas. Manual de prácticas. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2001; p. 130.

WALL, M. Ascorbic acid, vitamin A, and mineral composition of banana (*Musa sp.*) and papaya (*Carica papaya*) cultivars grown in Havai, Journal of Food and Analysis, v.19, 2006; p. 434-435.

WILLS, R. Introducción a la fisiología y manipulación poscosecha de frutas y hortalizas y plantas ornamentales. Zaragoza: Acribia, 1999; p. 260.

WILLIAMS, A. G., A key element in color reproduction. En: The International Journal of Newspaper Technology. Febrero 2002; p. 5.

YANG, X.T., ZHANG, Z.Q., JOICE, D., HUANG, X.M., Xu, L.Y. Characterization of chlorophyll degradation in banana and plantain during ripening at high temperature. Food Chemistry. 114: 2009; p. 383-390.

ZHUANG, J.P., SU, J., L., and CHEW, W.X., Cloning and expression analysis of  $\beta$ -galactosidase gene related to softening of banana (*Musa* sp.) fruit. Journal of Plant Physiology and Molecular Biology. 32: 2006; p. 411-419.

**Anexo A**Análisis estadístico  
Análisis de varianza de medidas repetidas

## 1. Variable.

P/C	F value	Pr(>F)
trata	571.9	1.42e-07 ***
Error: Within		
tiempo	159.42	7.00e-15 ***
trata:tiempo	28.39	2.72e-06 ***

## 2. Variable Peso.

trata	7.994	0.0203 *		
Error: Within				
tiempo	1.311	0.301	INCIDENCIA	
trata:tiempo	0.001		0.999	NO HAY
INCIDENCIA				

## 3. Variable firmeza

Trata	1.877	0.233
Error: Within		
tiempo	16.955	9.86e-07 ***
trata:tiempo	0.615	0.552

## 4. Variable Humedad

trata	1287	1.26e-08 ***
Error: Within		
tiempo	147.7	1.38e-14 ***
trata:tiempo	149.4	6.16e-12 ***

## 5. Variable Almidón

trata	24.34	0.00132 **
Error: Within		
tiempo	21.551	1.57e-07 ***
trata:tiempo	2.676	0.096 .

## 6. Variable Ratio

trata	119.6	1.46e-05 ***
Error: Within		
tiempo	236.00	< 2e-16 ***
trata:tiempo	42.17	1.61e-07 ***

7. Variable pH		
trata	1.618	0.274
Error: Within		
tiempo	27.6542.17e-08	***
trata:tiempo	9.042	0.00191 **
8. Variable Dióxido		
trata	8.88	0.0161 *
Error: Within		
tiempo	25.08	4.74e-08 ***
trata:tiempo	56.69	1.70e-08 ***
9. Variable Tinte		
trata	27.88	0.000917 ***
Error: Within		
Tiempo	21.78	1.44e-07 ***
trata:tiempo	16.17	9.56e-05 ***
10. Variable Delta E		
trata	8.649	0.0171 *
Error: Within		
tiempo	16.90	1.01e-06 ***
trata: tiempo	76.07	1.66e-09 ***

Signif. codes: 0 \*\*\* 0.001 \*\* 0.01 \* 0.05 . 0.1 1

Trata: incidencia de las semanas de cosecha sobre la variable, si F es grande entonces alta significancia estadística

Tempo: significancia del tiempo poscosecha en la variable

Trata: tiempo incidencia del tiempo e interacción a través del tiempo entre los tratamientos

El análisis de varianza mostró alta significancia estadística con respecto a la edad de cosecha y al tiempo poscosecha para las variables pulpa/cáscara, humedad, ratio, tasa de respiración, tasa de producción de etileno y parámetros de color. Las variables pH y firmeza presentan independencia con respecto a la edad de cosecha y dependencia estadísticamente significativa con el tiempo poscosecha, a un nivel de significancia del 5%. La variable peso presenta dependencia con la edad de cosecha estadísticamente significativa pero no con el tiempo poscosecha.