

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**



**V CICLO DE COMPLEMENTACIÓN ACADÉMICA FIAI 2005**

**INFORME DE INGENIERÍA**

**MADURACIÓN CONTROLADA Y COLOR EN BANANOS**

**PRESENTADO POR:**  
**LENIN CACHAY QUEVEDO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO**  
**AGROINDUSTRIAL**

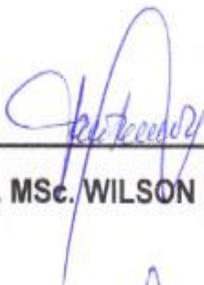
**TARAPOTO – PERÚ**  
**2017**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**  
**V CICLO DE COMPLEMENTACIÓN ACADÉMICA**

**MADURACION CONTROLADA Y COLOR EN BANANOS**

**INFORME DE INGENIERÍA**  
**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**  
**INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

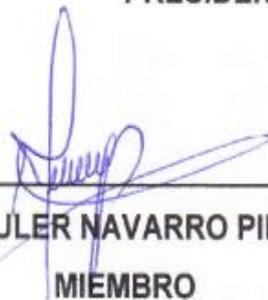
**SUSTENTADA Y APROBADA ANTE EL SIGUIENTE JURADO:**



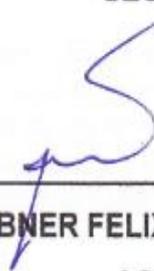
Ing. MSc. WILSON ERNESTO SANTANDER RUIZ  
**PRESIDENTE**



Ing. NELSON GARCÍA GARAY  
**SECRETARIO**



Ing. Dr. EULER NAVARRO PINEDO  
**MIEMBRO**



Ing. Dr. ABNER FELIX OBREGÓN LUJERIO  
**ASESOR**

Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis

1. Datos del autor:

|   |                      |
|---|----------------------|
| Apellidos y nombres: CACHAY QUEVEDO LENIN |                      |
| Código de alumno : 962-401                | Teléfono: 042 552297 |
| Correo electrónico :                      | DNI: 09955794        |

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

|  |
|--|
| Facultad de: INGENIERIA AGROINDUSTRIAL                         |
| Escuela Académico Profesional de:<br>INGENIERIA AGROINDUSTRIAL |

3. Tipo de trabajo de investigación

|  |                              |
|--|------------------------------|
| Tesis ( )                              | Trabajo de investigación (X) |
| Trabajo de suficiencia profesional ( ) |                              |

4. Datos del Trabajo de investigación

|  |
|--|
| Título :<br>MATURACIÓN CONTROLADA Y COLOR EN BANANOS |
| Año de publicación: 2017                             |

5. Tipo de Acceso al documento

|                       |     |         |     |
|-----------------------|-----|---------|-----|
| Acceso público *      | (X) | Embargo | ( ) |
| Acceso restringido ** | ( ) |         |     |

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

|  |
|--|
|  |
|  |
|  |

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejen constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

### 7. Otorgamiento de una licencia **CREATIVE COMMONS**

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".

  
Firma del Autor

### 8. Para ser llenado por la Biblioteca central o especializada

Fecha de recepción del documento por el Sistema de Bibliotecas:

17 / 11 / 2017

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN TARAPOTO  
UNIDAD DE BIBLIOTECA CENTRAL

  
Prof. Alicia G. Torres Gández Chávez  
JEFE DE LA UNIDAD DE BIBLIOTECA CENTRAL

Firma de Unidad de Biblioteca

\***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

\*\* **Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

## DEDICATORIA

**A mis padres:**

**LUZ MARÍA QUEVEDO NAVARRO**

**LUCAS CACHAY HUAMAN**

Eterna gratitud y amor, por darme la vida  
y por su invaluable apoyo durante mi  
formación profesional

A mis hermanos LUZ MARÍA y LUCAS  
por su colaboración incondicional en el  
logro de mis metas y anhelos.

A mis sobrinas: LUCERO y CARLA por su  
motivación y apoyo durante mi vida  
universitaria.

## **AGRADECIMIENTO**

- Al Ing. Dr. Abner Félix Obregón Lujerio, docente de la Universidad Nacional de San Martín, por la asesoría brindada durante la ejecución del presente trabajo.
- A los docentes de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de San Martín; por las enseñanzas y orientaciones impartidas durante mi formación profesional.
- Finalmente, un agradecimiento a todas aquellas personas que colaboraron en forma directa e indirecta para la realización del presente trabajo.

## ÍNDICE GENERAL

|  | <b>Pág.</b> |
|--|-------------|
| DEDICATORIA .....  | ii          |
| AGRADECIMIENTO.....  | iii         |
| ÍNDICE GENERAL.....  | iv          |
| ÍNDICE DE CUADROS.....   | vi          |
| ÍNDICE DE FIGURAS.....   | vii         |
| ÍNDICE DE ANEXOS.....  | viii        |
| ABREVIATURAS.....  | ix          |
| RESUMEN.....   | x           |
| SUMMARY.....   | xi          |
| <br>   |             |
| I. INTRODUCCIÓN .....  | 1           |
| <br>   |             |
| II. INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA.....   | 3           |
| <br>   |             |
| 2.1. Maduración de Bananos.....  | 3           |
| 2.1.1. Características del índice de madurez.....  | 3           |
| 2.1.2. Tasa de respiración y producción de etileno.....  | 15          |
| <br>   |             |
| 2.2. Cambios Físico-Químicos en la Maduración de Bananos.....  | 19          |
| 2.2.1. Cambios en la coloración de la cáscara y pulpa.....   | 19          |
| 2.2.2. Transformación del almidón en azúcares.....   | 20          |
| 2.2.3. Cambios de relación pulpa/cascara.....  | 22          |
| 2.2.4. Cambios en la firmeza de la pulpa.....  | 22          |
| 2.2.5. Cambios del contenido de sólidos solubles totales.....  | 23          |
| 2.2.6. Cambios del pH y de la acidez titulable total.....  | 24          |
| 2.2.7. Cambios del contenido de humedad de la pulpa y de materia<br>seca en la cascara y pulpa. .... | 24          |
| 2.2.8. Cambios en la tasa de respiración y de la producción de etileno.                              | 24          |
| <br>   |             |
| 2.3. Maduración Controlada en Bananos .....  | 24          |
| 2.3.1. Estado de los bananos cuando son cosechados .....   | 26          |
| 2.3.2. Colocación de los bananos en las cámaras.....   | 27          |

|  |    |
|--|----|
| 2.3.3. Fases de maduración de los bananos.....                       | 28 |
| 2.3.4. Modos de conducción de la maduración.....                     | 29 |
| 2.3.5. Sistema de control en la cámara de maduración controlada..... | 33 |
| 2.3.6. Factores que conducen a una maduración imperfecta.....        | 35 |
| 2.3.7. Salida de las frutas de las cámaras .....                     | 35 |
| 2.4. Maduración de Bananos con Ethrel.....                           | 36 |
| 2.5. Acción y Efecto del 1-Metilciclopropeno (1-MCP).....            | 37 |
| III. METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTOS .....                              | 44 |
| IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LA INFORMACIÓN.....                      | 45 |
| V. PROPUESTA DE APLICACIÓN Y/O MEJORA .....                          | 47 |
| VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....                              | 49 |
| 6.1. CONCLUSIONES.....   | 49 |
| 6.2. RECOMENDACIONES.....  | 50 |
| VII. BIBLIOGRAFÍA.....   | 51 |
| VIII. ANEXOS.....  | 55 |

## ÍNDICE DE CUADROS

|  | Pág. |
|--|------|
| <b>CUADRO 1:</b> Cambios de color y composición química durante la maduración organoléptica del banano Cavendish.....  | 13   |
| <b>CUADRO 2:</b> Maduración Rápida de los Bananos.....   | 30   |
| <b>CUADRO 3:</b> Maduración Normal de los Bananos.....   | 31   |
| <b>CUADRO 4:</b> Maduración Lenta de los Bananos.....  | 32   |
| <b>CUADRO 5:</b> Efecto de diferentes Concentraciones de Etherl para la Maduración de Bananos entre 21 a 24 °C.....  | 37   |
| <b>CUADRO 6:</b> Valores de las variables del color externo en fruta de banano tratada con 1-MCP.....  | 39   |
| <b>CUADRO 7:</b> Coloración externa de fruta de banano tratada con 1-MCP, según mercado de destino, dosis de aplicación y compañía proveedora de la fruta.....             | 40   |
| <b>CUADRO 8:</b> Condiciones de calidad interna en fruta de banano tratada con 1-MCP, según mercado de destino, dosis de aplicación y compañía proveedora de la fruta..... | 41   |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  | Pág. |
|--|------|
| <b>FIGURA 1:</b> Ejemplo de cambios típicos en las características morfológicas durante la maduración de la fruta.....   | 6    |
| <b>FIGURA 2:</b> Evaluación del diámetro del dedo o grado en la práctica comercial.....  | 7    |
| <b>FIGURA 3:</b> Medición del largo del dedo del banano con una cinta.....   | 8    |
| <b>FIGURA 4:</b> Ejemplo de los cambios típicos en los ángulos, forma y tamaño del área transversal durante la maduración de la fruta.....   | 9    |
| <b>FIGURA 5:</b> Tabla de colores de la piel de banano.....  | 14   |
| <b>FIGURA 6:</b> Grados de madurez del banano «Cavendish» ( <i>Musa acutrinata</i> , var. Williams).....   | 21   |
| <b>FIGURA 7:</b> Inyección de etileno en una cámara de maduración controlada de banana.....  | 25   |
| <b>FIGURA 8:</b> Desarrollo del color externo (según tabla comercial) de fruta de banano tratada con 1-MCP.....  | 42   |
| <b>FIGURA 9:</b> Efecto de los tratamientos de 1-MCP sobre el desarrollo de color externo de fruta de banano Cavendish evaluada 6 días después de la inducción de la maduración..... | 43   |

## ÍNDICE DE ANEXOS

|  | Pág. |
|--|------|
| <b>ANEXO I:</b> Glosario.....  | 55   |
| <b>ANEXO II:</b> Cuadro de Conocimiento del Producto.....            | 57   |
| <b>ANEXO III:</b> Evaluación de las características Postcosecha..... | 61   |

## ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍA

|                               |   |   |
|-------------------------------|---|---|
| ACC                           | = | Ácido 1-Aminociclopropano-1-Ácido Carboxílico |
| AIGR                          | = | Analizador Infrarrojos de gas                 |
| AOAC                          | = | Asociación de Químicos Oficiales Agrícolas    |
| CDC                           | = | Cámara Digital de Color                       |
| C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> | = | Etileno                                       |
| CO <sub>2</sub>               | = | Dióxido de Carbono                            |
| CVS                           | = | Sistema de Visión por Computadora             |
| DCT                           | = | Detector de Conductividad Termal              |
| DILL                          | = | Detector de Ionización de Llamas              |
| FHIA                          | = | Fundación Hondureña de Investigación Agrícola |
| KMnO <sub>4</sub>             | = | Permanganato de Potasio                       |
| KOH                           | = | Hidróxido de Potasio                          |
| L                             | = | Litros  |
| mm                            | = | Milímetros                                    |
| O <sub>2</sub>                | = | Oxígeno molecular                             |
| SAM                           | = | S-Adenosil-L-Metionina                        |
| µl                            | = | Microlitro                                    |

## RESUMEN

Los bananos constituyen el cuarto producto agrícola más importante en el mundo, después del arroz, trigo y maíz en términos de producción. Son una fuente barata y de fácil producción de energía, así como de vitaminas A, C y B<sub>6</sub>. Se estima, que suministran más de 200 calorías (energía alimenticia) por día a unos 60 millones de personas en África; en América Tropical y el Caribe, esta fruta tiene un gran significado socioeconómico y nutricional y su exportación genera ingresos y empleos.

La maduración de una fruta es el resultado de un complejo de cambios bioquímicos, muchos de los cuales probablemente ocurren independientemente unos de otros **DADZIE y ORCHARD (1987)**, en algunos híbridos pueden experimentar cambios en la coloración externa de la cáscara, firmeza de la pulpa, en los valores del contenido de sólidos solubles, acidez titulable y/o en la tasa de producción de CO<sub>2</sub>; pero no hay un criterio único para medir el índice de la madurez de bananos.

Tampoco existe suficiente información sobre maduración controlada de bananos para que los productores puedan lograr una maduración homogénea del fruto sin perder su calidad, por tanto el presente trabajo monográfico, sistematiza los aportes de la información especializada sobre los criterios postcosecha y métodos para la evaluación rutinaria de bananos, el efecto del etileno como agente de maduración y, los métodos de medición de la tasa de respiración y producción de etileno durante la maduración controlada; de modo que pueda ser referente para los agricultores y personas involucradas en la investigación y transferencia tecnológica.

**Palabras Claves:** Frutas tropicales, Banano, Musa [Bananos], Tecnología Postcosecha, Maduramiento.

## SUMMARY

The bananas constitute the fourth agricultural product more important in the world, after the rice, wheat and corn in terms of production. They are a cheap source and of easy energy production, thus I eat of vitamins A, C and B<sub>6</sub>. He takes care of himself, that they supply over 200 calories (nutritious energy) per day to some 60 million of people in Africa; in American Tropical and the Caribbean, this fruit has a great socioeconomic significance and nutritional and his exporting generates earnings and jobs.

A fruit's maturation stems from a biochemical- changes complex, many of them as probably occur independently some of others **DADZIE and ORCHARD (1987)**, they can experience changes in the shell's external coloration in some crossbreeds, the pulp's firmness, in the moral values of the soluble- solids contents, acidity titulable and/or in CO<sub>2</sub> production rate; but there is not an only opinion to measure the index of the bananas maturity.

Neither he exists enough information on maturation controlled of bananas stop than the producers let them may be able to a homogeneous maturation of the fruit without losing his quality, therefore the present monographic work, systematize the information's contributions once postharvest was specialized on the criteria and methods in order to the evaluation bananas routinist, the maturation effect of the ethylene as agent and, the measurement methods of the respiration and production rate of ethylene during the maturation controlled; so that may be concerning in order to the farmers and people implicated in the investigation and technological transference.

**Keywords:** Tropical fruits, Banana, Muse [Bananas], Post-harvest technology, Maturation.

## I. INTRODUCCIÓN

El banano en el Perú, es un cultivo que se caracteriza por ser una valiosa fuente alimenticia para el consumidor y un importante factor de seguridad alimentaria para el productor y su familia, especialmente en la selva. Además, genera ingresos permanentes para los agricultores, constituyendo una “caja chica” para financiar otras actividades agrícolas. Se estima que 147 987 familias en el Perú dependen directamente e indirectamente de este cultivo a través de la cadena productiva. **(INIA, 2010)**.

Los bananos suelen cosecharse en muy diversos estados de madurez fisiológica; en pleno crecimiento (delgado y angular), o cuando han terminado de crecer (llenos y redondeados) o en cualquier etapa intermedia y se maduran hasta alcanzar una excelente calidad organoléptica, con ayuda de etileno. **WILLS et al. (1998)**, menciona que la maduración de los bananos puede inducirse introduciéndolos en almacenes poco ventilados y se ha comprobado, que la maduración se acelera quemando lentamente en el almacén carbón vegetal, o madera. Hoy se sabe que la combustión incompleta de estos combustibles genera etileno y que es el agente activo que estimula la maduración. Pero también se induce la maduración añadiendo agua al carburo cálcico, en la práctica se necesitaría, usar una concentración cien veces más que la del etileno. **(AWAD, et al., 1975)**.

El control del proceso de maduración de frutos climatéricos es uno de los aspectos clave para la comercialización internacional de este tipo de fruta; esto se debe a que el proceso está íntimamente relacionado con la capacidad de esa fruta para soportar períodos de transporte y almacenamiento prolongados hasta alcanzar los mercados de destino.

La maduración industrial de bananos se ha convertido en una operación rutinaria y permite suministrar bananos en el estado de coloración deseado, realizándose en cámaras diseñadas a temperaturas 18°C y humedad relativa entre el 85 – 95% y ventilación permanente para eliminar etileno una vez finalizando el tratamiento. El proceso consiste en un calentamiento inicial de los frutos hasta llegar

a la temperatura deseada para inyectar etileno en una concentración 1000 ppm y por un tiempo de 24 horas. Luego se ventila para eliminar los gases acumulados, se reduce la temperatura 14°C para su almacenamiento y/o transporte.

La concentración de etileno y el tiempo de exposición son función de la temperatura, la cual acelera el proceso.

En general, entre las diferentes propiedades físicas de las frutas, particularmente en el banano, el color es visualmente considerado el atributo más importante en la percepción de la calidad y sirve como un indicador instantáneo de buena o mala calidad; en consecuencia una maduración controlada y el color en bananos es una práctica postcosecha muy importante para lograr una oferta exportable del Perú en el mundo.

En tal sentido, el presente informe de ingeniería, plantea los siguientes objetivos:

- ❖ Describir los índices de cosecha y postcosecha de bananos.
- ❖ Determinar los métodos para la medición de las tasas de respiración y producción de etileno durante la maduración controlada de bananos.
- ❖ Describir los cambios de color de los bananos durante las fases de maduración.

## II. INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Maduración de Bananos

La maduración de la fruta es un importante criterio postcosecha en la selección de bananos, ya que el estado de madurez de cualquier fruta cosechada influye enormemente sobre la vida verde o habilidad de almacenamiento de la fruta durante largos períodos de tiempo y calidad final para el consumo. Cada fruta desarrollará plenamente su olor, sabor y color característicos durante el almacenamiento, si la misma se recoge durante un período óptimo. Las frutas cosechadas en una etapa temprana de madurez son más susceptibles al marchitamiento y daños mecánicos y su calidad después de madurar resulta ser muy pobre, a pesar de tener una vida de almacenamiento larga. Por otro lado, la cosecha en una etapa avanzada no es conveniente para las frutas que serán transportadas por mar a largas distancias debido a su corta vida de almacenamiento. **(KADER, 1994).**

La madurez en la cosecha es un factor importante que afecta la percepción de la calidad y la tasa de cambio de la calidad durante el manejo (manipulación) postcosecha permite programar con eficiencia las operaciones de cosecha, manipulación y comercialización. Por lo tanto, es importante identificar los indicadores o índices claves de madurez de los bananos, de modo que se asegure la mejor calidad para el consumidor y se provea la flexibilidad necesaria en la comercialización. **(DADZIE y ORCHARD, 1987).**

#### 2.1.1. Caracterización del Índice de Madurez

La cuantificación del índice de madurez, debe asegurar: 1) Calidad mínima aceptable para el consumo y 2) Una vida de almacenamiento larga.

Las mediciones de la madurez de frutas, la efectúan los productores, manipuladores y personal del control de calidad, debiendo usar metodologías sencillas, para ser realizadas con prontitud en el campo (y/o el laboratorio) o en el punto de inspección y requerir equipo de relativo bajo costo. El índice madurez debe ser preferiblemente más objetivo, que subjetivo, e idealmente, no destructible

**(DADZIE y ORCHARD, 1987)**, donde el peso, longitud, circunferencia y volumen de las frutas han sido utilizadas en intentos de proporcionar estimaciones adecuadas de madurez.

No existen criterios objetivos reconocidos universalmente para determinar cuando cosechar los bananos. Sin embargo, en la mayoría de las plantaciones y fincas, los criterios o índices comunes utilizados en la evaluación de la madurez o del tiempo de cosecha, pueden ser cualquiera de los siguientes:

- Por experiencia y juzgando en gran parte por la apariencia visual del racimo colgante y particularmente por la angularidad de los dedos individuales **(PALMER, 1971)**
- Las frutas se cosechan cuando los dedos de la primera mano muestran signos de maduración o amarillez, o cuando las puntas de los dedos se tornan negras **(DADZIE, 1994)**
- En la mayoría de las plantaciones bananeras, las frutas destinadas a los mercados distantes se cosechan en una etapa conocida como “tres cuartos lleno”, cuando los dedos están todavía claramente angulosos. Para los mercados locales, las frutas a menudo se cosechan cuando los dedos están llenos o redondeados.
- Uso de cintas de colores para brindar información respecto a la edad del racimo y/o control de edad **(DADZIE, 1994)**.
- El diámetro (o grado del calibrador de la fruta) y la longitud de la fruta pueden ser utilizados como criterio para determinar el período de cosecha.

Es habitual, el uso de una combinación de indicadores de madurez para determinar el tiempo de la cosecha. **(DADZIE y ORCHARD, 1987)**, proponen para identificar los indicadores claves de maduración del banano, métodos y procedimientos tanto de campo y de laboratorio, que se indican:

## **1. Métodos y Procedimientos de Campo:**

### **a) Etiquetado de las plantas durante la emergencia de las flores**

Esto involucra la marcación de las plantas en el campo inmediatamente después de la emergencia de las flores (anotar la fecha de floración), o la utilización de cintas de colores para dar una indicación de la fecha de

floración. El cálculo de la cantidad de días desde la antesis hasta la cosecha, brinda uno de los mejores indicadores de la madurez de los bananos. Este es el método más confiable para estimar la edad del racimo en los bananos.

#### **b) Observación visual del desarrollo del racimo y de las frutas**

Después de efectuar el etiquetado de las plantas durante la emergencia de flores, una observación (o inspección) visual regular del desarrollo es extremadamente importante en la identificación de los indicadores externos de maduración de los bananos. Anotar cualquier cambio observado en el desarrollo del racimo y de los frutos en el campo.

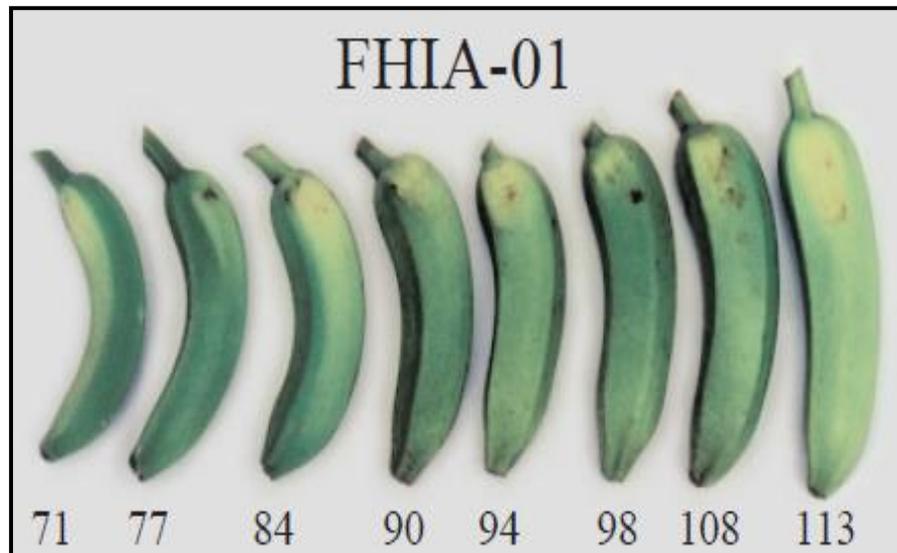
Los cambios visuales más significativos en las características morfológicas de las frutas durante la maduración ocurren en su tamaño, forma, longitud y volumen (circunferencia), al avanzar la edad de los racimos. Durante las etapas tempranas de desarrollo, los dedos individuales son angulosos, sin embargo, al progresar el crecimiento, los dedos pierden la angularidad y se tornan más redondeados y llenos en forma (al avanzar la edad de los frutos).

El grado final de la redondez depende del cultivar. En algunos bananos, aparecen líneas verticales en la superficie de las frutas durante la maduración. Estas líneas son más pronunciadas en las frutas inmaduras, pero se vuelven menos pronunciadas al avanzar la maduración (Figura N° 1).

En algunos bananos, aparecen cortas líneas visibles de color marrón en una etapa posterior del desarrollo, las cuales se tornan más pronunciadas al avanzar la edad de las frutas. En algunos bananos, los extremos del estilo se secan y se cuelgan de las frutas en la cosecha, mientras que en otros, se caen al madurar la fruta. Estos cambios, visibles en la morfología de la fruta durante la maduración, representan importantes índices de madurez, esenciales para la evaluación total de la época de cosecha.

Es importante mencionar, que aunque algunos de los cambios morfológicos visibles, que ocurren en la fruta durante la maduración, pueden depender del cultivar/híbrido o ser únicos de un cultivar o híbrido particular, en general, la mayor parte de los mismos pueden manifestarse en la mayoría de los

híbridos de bananos, bananos de cocción y plátanos. La Figura 1 es un ejemplo de los cambios típicos en las características morfológicas durante la maduración de la fruta.



**Figura N° 1:** Cambios típicos en las características morfológicas durante la maduración de la fruta.

**Fuente:** DADZIE, B.K. y ORCHARD, J.E. 1987.

## 2. Métodos y Procedimientos de Laboratorio

Cosechado el racimo (el mismo día) se transporta las frutas al laboratorio para el análisis y es preferible para obtener datos consistentes. Es esencial que todas las mediciones se limiten a (o se tomen) los dedos de la segunda mano del racimo. Los análisis comprenden:

### a) Cambios en las características de la fruta durante la maduración

Durante la maduración, las frutas muestran aumentos en peso, longitud, circunferencia y área de corte transversal y una proporción entre pulpa y cascara. Estos cambios ocurren simultáneamente, seguido de cambios visuales en la fruta (tamaño, forma, volumen, angularidad, color de la cáscara y naturaleza del extremo estilar). Por esta razón debe evaluarse:

❖ **Medición de diámetro, longitud, peso, volumen y densidad de la fruta (véase anexo III)**

El diámetro o grado de los dedos, se mide con un calibrador en el dedo medio del círculo exterior de la segunda mano (en la parte más gruesa del dedo) de cada racimo (Figura N° 2) y se expresa de tres maneras dependiendo del país:

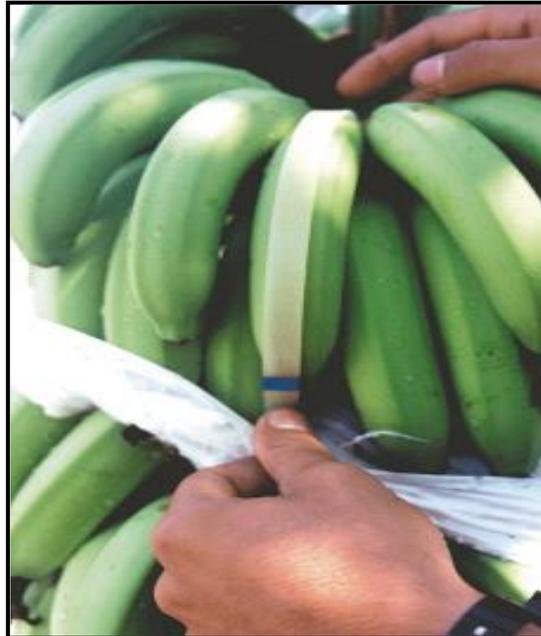
- Total de treinta y dos avos de pulgada (por ejemplo, el grado 42 es  $110/32$  de pulgada).
- La cantidad de treinta y dos avos de pulgada sobre treinta y dos (por ejemplo, el grado 10 es  $110/32$  de pulgada);
- Milímetros (por ejemplo, el grado 42 es 33 mm utilizando 0.794 para cada treinta y dos avos de pulgada. En América Central y del Sur, el grado se expresa como el número treinta y dos avos de pulgada sobre 1 pulgada, mientras que los milímetros se utilizan en el Caribe y en África (**STOVER y SIMMONDS, 1987**). Este parámetro puede variar dependiendo de las estaciones.



**Figura N° 2:** Evaluación del diámetro del dedo o grado en la práctica comercial.

**Fuente:** DADZIE, B.K. y ORCHARD, J.E. 1987

La longitud de la fruta o del dedo también se determina midiendo el dedo medio en el círculo exterior de la segunda mano con una cinta diseñada especialmente para este propósito (Figura N° 3).



**Figura N° 3:** Medición del largo del dedo con una cinta diseñada para este propósito.

**Fuente:** DADZIE, B.K. y ORCHARD, J.E. 1987.

Durante la maduración, también ocurren cambios en el peso, volumen y densidad de los bananos. Por lo tanto, es esencial evaluar estas características de la fruta en conjunto con otros cambios visuales de la misma.

#### ❖ **Relación pulpa/cáscara**

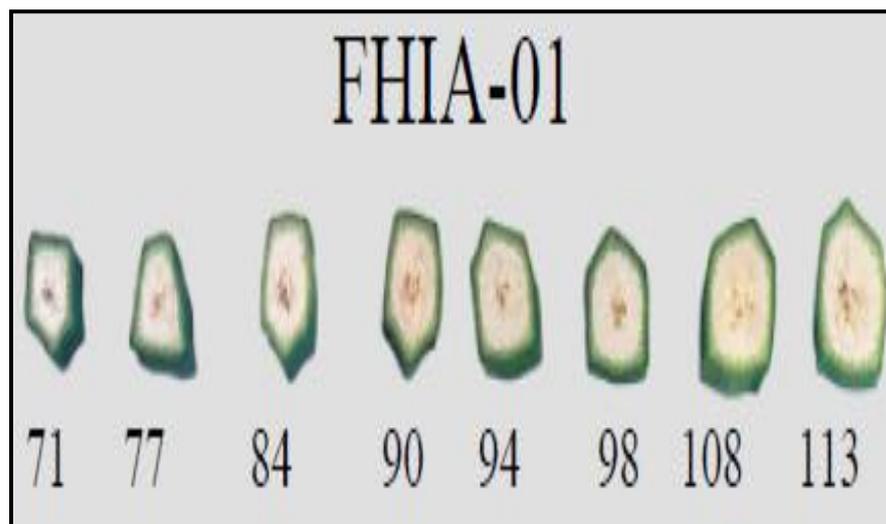
Los cambios en la relación pulpa/cáscara de los bananos, durante la maduración es uno de los indicadores de la madurez más significativos y consistentes. Existen tanto una relación lineal como una fuerte correlación entre la relación pulpa/cáscara y edad del racimo **(DADZIE y ORCHARD 1997)**. (Véase anexo III)

#### ❖ Área del corte transversal de la fruta

Generalmente, en algunos cultivares de bananos, el área del corte transversal o dimensiones de la fruta (es decir, los dedos cerca del ápice del racimo) cambian durante la maduración y se mide:

- Corte transversal de la fruta en el punto medio y trace la superficie cortada sobre una hoja de papel con un lápiz suave afilado.
- Permita que el papel se seque y trace las secciones nuevamente sobre una hoja de papel limpia.
- Recorte las secciones (con unas tijeras) y pese en una balanza de Mettler ( $\pm 0.0001$ ).
- De manera similar, recorte y pese un papel de 100 x 100 mm. El peso del papel de 100 x 100 mm da el peso por milímetros cuadrados ( $\text{mm}^2$ ).

La figura N° 4 es un ejemplo de los cambios típicos que ocurren en los ángulos, forma y tamaño del área del corte transversal durante la maduración de la fruta.



**Figura N° 4:** Cambios típicos en los ángulos, forma y tamaño del área transversal durante la maduración de la fruta.

**Fuente:** DADZIE, B.K. y ORCHARD, J.E. 1987.

### ❖ **Arquitectura locular**

En algunos cultivares, también ocurren cambios en la arquitectura locular de la fruta al progresar la maduración. La estructura locular, así como las semillas degeneradas en la fruta, se tornan pronunciadas al avanzar la edad de esta (Figura N° 4).

Los cambios en la arquitectura locular pueden ser evaluados cortando las frutas transversalmente en el punto medio y observando cualquier cambio en la arquitectura locular.

## **b) Cambios en las cualidades postcosecha durante la maduración**

Durante la maduración, también ocurren cambios en las cualidades postcosecha de los bananos, por lo tanto, es importante evaluar estas cualidades para poder identificar los índices claves de madurez. Las principales cualidades postcosecha que deben ser evaluadas son las siguientes:

### ❖ **Color de la cáscara y la pulpa**

En la mayoría de los bananos, el color de la cáscara cambia de verde oscuro a verde claro (o amarillo/verde) al avanzar la maduración de la fruta. El color de la pulpa de las frutas preclimatéricas cambia de blanco a cremoso o amarillo pálido durante las últimas etapas del desarrollo de la planta. Estos cambios en el color de la pulpa y de la cáscara pueden significar el principio de la madurez fisiológica y podría ser utilizado en la estimación de la madurez de la fruta en los bananos. Tablas de colores o instrumentos de medición de colores son las herramientas que se utilizan para este propósito (**KNEE, 1980**).

El color de la cáscara y de la pulpa de los bananos puede ser medido utilizando el cromámetro Minolta (CR-100 o CR-200) con una cabeza de medición de 8 mm, de la siguiente manera:

- **Medición del color de la cáscara:** Coloque la cabeza de medición sobre la superficie de la cáscara, tome aproximadamente 2-3 lecturas (en cada superficie de la fruta) y calcule el promedio.

- **Medición del color de la pulpa:** Corte la fruta transversalmente en el punto medio y coloque la cabeza de medición en el centro o lóculo y tome una sola lectura.

Estas mediciones de color se registran utilizando la escala  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  de Hunter (**HUNTER, 1975**). La coordenada "L" es una medida de claridad (blanco negro y varía desde el punto de ausencia de reflejo,  $L = 0$ , hasta el punto de reflejo difuso perfecto,  $L = 100$ ). La escala "a" varía desde los valores negativos para el color verde, hasta los positivos para el rojo. La escala "b" varía desde los valores negativos para el color azul, hasta los positivos para el amarillo. Los valores  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  deben ser convertidos en el matiz, valor y croma (**MCGUIRE, 1992**).

**SALVADOR et al. (1999)**, usaron la medida instrumental del color externo de los bananos almacenados a 10, 20 y 30 C, en un colorímetro Hunter Labscan II y los resultados se expresaron según el sistema CIELAB referidos al iluminante D65 y un ángulo de visión de 10°. **DE SOUZA (2003)**, evaluó el color de los bananos "plata" con la ayuda de un colorímetro a través del sistema de coordenadas "L", "a" y "b". La banana verde sin tratamiento con etileno y a temperatura ambiente de 21.6 °C en promedio (testigo), presentó valores promedios de las coordenadas "L" (brillo), "a" (-a es verde / +a es rojo) y "b" (-b es azul / +b es amarillo) de 44.18; -48.37 y 19.70, respectivamente. Los mayores valores de "L". "a" y "b" fueron encontrados para las combinaciones de mayor tiempo de exposición con las dosis de etileno, siendo significativo a partir de las 72 horas de tratamiento.

**MENDOZA (2005)**, implementó un sistema de visión por computadora (CVS) empleando fotografía digital y técnicas de análisis de imágenes para la medición de color de superficies de alimentos y para ser empleado en el control de la calidad de plátanos durante almacenamiento y producción, respectivamente. Para lo cual, el primer paso fue la implementación y calibración de un CVS independiente del dispositivo de captura (CDC, Cámara Digital Color) basado en un

procedimiento de intercambio común para la medición de color estándar de acuerdo al International Electrotechnical Commission (**AVENDAÑO, 1999**).

El sistema de visión por computadora, que emplea técnicas de análisis de imágenes para la identificación de las etapas de madurez de plátanos de buena calidad (almacenados en condiciones óptimas,  $T=20^{\circ}\text{C}$  y  $\text{HR}=90\%$ ) basado en el atributo color, desarrollo de pintas pardas e información de textura de la imagen, demostraron que a pesar de las variaciones en los datos de color y apariencia, un simple análisis discriminante para la identificación de las etapas de maduración de plátanos es tan buena como la percepción visual de un profesional. Demostrando, la capacidad discriminante de nueve características de apariencia ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ; porcentaje de área parda (%BSA); número de manchas pardas por  $\text{cm}^2$  (NBS/ $\text{cm}^2$ ); y características de textura de imagen: homogeneidad, contraste, correlación y entropía) evaluando 49 imágenes de bananas con propósitos de clasificación. Usando las coordenadas de color  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , %BSA y contraste fue posible clasificar 49 muestras de bananas en sus 7 etapas de madurez con una exactitud del 98%.

Posteriormente, **MENDOZA (2005)**, desarrolló un algoritmo de visión por computadora basado únicamente en los valores de píxel promedio ( $m$ ) y variancia de los histogramas ( $s$ ) fue implementado para predecir las 7 etapas de maduración de bananas almacenadas en condiciones comerciales y previamente clasificadas por inspección visual profesional (**Cuadro N° 1**). En este caso, fueron comparadas la capacidad discriminante de tres grupos de características diferentes de color tomadas de 140 bananas: (1) información de color de la imagen total de las bananas; (2) información de color del fondo amarillo de las bananas libres de manchas pardas (BFS); y (3) la combinación de datos de color del BFS y de las manchas pardas de la banana tomadas independientemente.

Los resultados mostraron que fueron capaces de predecir correctamente con más del 94% de exactitud las siete etapas de madurez de las 140 bananas. Sin embargo, las características seleccionadas usando BFS en combinación con las provenientes de imágenes de manchas pardas fueron capaces de predecir con mayor exactitud las etapas de maduración de bananas (98%). La inclusión de las características de color de las manchas pardas en bananas mejora la resolución de la clasificación, y en particular, entre las etapas 4 y 5 cuales mostraron los mayores errores de predicción en todos los grupos evaluados. Las relaciones entre las características de color seleccionadas en cada grupo evaluado (set) demostraron que los valores promedio de las escalas de color  $L^*$  y  $a^*$  y variancia de  $a^*$ , en todos los grupos, presentaron el más alto poder discriminante como indicadores de la madurez de bananas en relación con la evaluación humana.

**Cuadro N° 1: Cambios de color y composición química durante la maduración organoléptica del Banano Cavendish.**

| Estadio | Color de la Piel                | Porcentaje aproximado de almidón (%) | Porcentaje aproximado de azúcar (%) | Comentario                            |
|---------|---------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| 1       | Dedo completamente verde y duro | 20                                   | 0.5                                 | Duro, rígido; no madura               |
| 2       | Verde claro                     | 18                                   | 2.5                                 |                                       |
| 3       | Verde amarillento               | 16                                   | 4.5                                 |                                       |
| 4       | Más amarillo que verde.         | 13                                   | 7.5                                 |                                       |
| 5       | Amarillo con puntas verdes.     | 7                                    | 13.5                                |                                       |
| 6       | Totalmente amarillo.            | 2.5                                  | 18                                  | Se pela fácilmente; maduro pero firme |
| 7       | Amarillo con manchas café       | 1.5                                  | 19                                  | Completamente maduro; aromático       |

**Fuente:** WILLS R. et al., 1998.

**SALVADOR et al. (1999)**, por otra parte propone una escala de 1-7 denominado Escala de Von Loesecke, para la maduración de plátanos, con las siguientes características (Figura N° 5):

1. Dedo completamente verde y duro.
2. Verde claro.
3. Verde amarillento. Estado de entrega al detallista en verano.
4. Más amarillo que verde. Estado de entrega al detallista en invierno.
5. Amarillo con puntas verdes. Estado ideal para colocarlo en los estantes de venta al detalle.
6. Totalmente amarillo. Estado de venta y consumo.
7. Amarillo con manchas café. Completamente maduro. Mayor sabor y valor nutritivo.



**Figura 5:** Tabla de colores de la piel de banano.

**Fuente:** DADZIE, B.K. y ORCHARD, J.E. 1987.

❖ **Firmeza de la pulpa:**

Generalmente, la firmeza en la mayoría de los bananos, no cambia significativamente durante las etapas tempranas de maduración, pero al progresar el crecimiento, pueden ocurrir cambios en la firmeza de la pulpa. Por lo tanto, es importante determinar la firmeza de la pulpa durante la maduración de la fruta. (Véase anexo III)

#### ❖ **pH y acidez titulable total de la pulpa**

Los cambios en el pH y en la acidez titulable total de la pulpa durante la maduración dependen del cultivar. Algunos bananos son caracterizados por una disminución del pH en la pulpa y el aumento en la acidez titulable al avanzar la edad de la fruta, mientras que en otros no existen cambios significativos en el pH y acidez titular de la pulpa durante la maduración de la fruta.

#### ❖ **Contenido de humedad y materia seca en la cáscara y en la pulpa**

El contenido de humedad y materia seca en la cáscara y en la pulpa de los bananos son atributos de calidad postcosecha importantes en la evaluación de la maduración de la fruta. Durante la maduración de los bananos ocurren cambios en el contenido de humedad y de materia seca en la cáscara y en la pulpa, sin embargo, estos cambios dependen del cultivar. (Véase anexo III)

### **2.1.2. Tasa de respiración y producción de etileno**

Existen distintos métodos para estimar las tasas de respiración y producción de etileno en los órganos vegetales, incluyendo en los de los bananos, pero ninguno de ellos es enteramente satisfactorio. Los métodos se basan en mediciones directas del dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), u oxígeno ( $\text{O}_2$ ) y etileno ( $\text{C}_2\text{H}_4$ ), o sobre el monitoreo indirecto o variaciones del volumen de la producción de  $\text{CO}_2$  y  $\text{C}_2\text{H}_4$  y absorción de  $\text{O}_2$ . Los siguientes son los dos métodos principales de estimación de  $\text{CO}_2$  (o absorción de  $\text{O}_2$ ) y producción de  $\text{C}_2\text{H}_4$ .

El gas etileno es una hormona natural de la planta producido por muchas frutas; tales como la banana y otras frutas climatéricas, jugando un rol fundamental en la maduración (**BURG y BURG, 1965**). En los frutos climatéricos, el etileno es producido en relativamente grandes cantidades; cuyas concentraciones internas fluctúan entre 0.05 y 2.1  $\mu\text{L/L}$  (**WILLS et al., 1998**). La producción de etileno endógeno desde 0.1 a 4.0  $\mu\text{L/kg/h}$  es a menudo inducido por el etileno exógeno (**JOHN y MARCHAL, 1995**). El etileno es fisiológicamente activo a muy bajas concentraciones tales como 0.1  $\mu\text{L/L}$  (**PEACOCK y BLAKE, 1970**).

El etileno es sintetizado en la pulpa de la fruta (**DOMÍNGUEZ y VENDRELL, 1994**), desde la metionina, a través de intermediarios, S-Adenosi-L-Metionina (SAM) y el ácido 1-aminociclopropano-1-ácido carboxílico (ACC) (**YANG, 1985**). La enzima involucrada en la conversión de SAM a ACC es la ACC sintetasa. La conversión de ACC a etileno es por la ACC oxidasa, conocidos como las enzimas que forman el etileno (EFE) (**MCGLASSON, 1985**).

### 1. Flujo a través del Sistema

El flujo a través del sistema involucra la incubación del órgano vegetal o fruta en un contenedor sellado, a través del cual se hace pasar un flujo conocido de gas. La corriente de salida se pasa a través de una columna que contiene un absorbente de CO<sub>2</sub>, como hidróxido de sodio (NaOH) o hidróxido de potasio (KOH), que absorbe el CO<sub>2</sub> liberado.

La cantidad de CO<sub>2</sub> producida durante un período de tiempo específico, se determina mediante el subsiguiente análisis titrimétrico o gravimétrico del material absorbido.

Alternativamente, las diferencias en las concentraciones de CO<sub>2</sub> (u O<sub>2</sub>) y C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> entre la entrada y la salida del contenedor pueden ser determinadas utilizando un cromatógrafo de gas (detector de conductividad termal (DCT) para la detección de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> o un analizador infrarrojo de gas (AIGR) para la detección de CO<sub>2</sub>; y un detector de ionización de llamas (DILL) para la detección de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) (**KADER, 1987**).

La tasa de respiración (y producción de etileno) se calcula sobre la base del peso de la fruta, tasa de flujo y cambios en la concentración de CO<sub>2</sub> u O<sub>2</sub> (o la concentración de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>).

La tasa de respiración (ml o cm<sup>3</sup> de O<sub>2</sub> (ó CO<sub>2</sub>) kg<sup>-1</sup>hora<sup>-1</sup>) o la tasa de producción de etileno (ml de C<sub>2</sub> H<sub>4</sub> kg<sup>-1</sup> hora<sup>-1</sup>) se calcula como:

$$\frac{Tr}{Tpe} = \frac{\Delta O_2 \text{ o } \Delta CO_2 \text{ o } \Delta C_2H_4}{100} \times \frac{\text{tasa de flujo (ml/hora)}}{\text{peso de fruta(kg)}}$$

Donde:

Tr = Tasa de respiración

Tpe = Tasa de producción de etileno

$\Delta O_2$  = cambios en la concentración de O<sub>2</sub> (%)

$\Delta CO_2$  = cambios en la concentración de CO<sub>2</sub> (%)

$\Delta C_2H_4$  = cambios en la concentración de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> (ml<sup>-1</sup>)

**Limitación:** El sistema de flujo transversal es especialmente conveniente para la medición del flujo de CO<sub>2</sub> y C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, ya que estos gases pueden ser depurados utilizando Hidróxido de Potasio (KOH) y Permanganato de Potasio (KMnO<sub>4</sub>) respectivamente a partir del flujo gaseoso entrante, de tal manera que sólo las cantidades producidas por las frutas estén presentes en el flujo afluyente de aire.

También es extremadamente difícil medir el O<sub>2</sub> con precisión utilizando este enfoque, ya que es necesario medir con precisión la diferencia entre los flujos entrante y saliente, siguiendo una cantidad de absorción relativamente pequeña de O<sub>2</sub> por la fruta (**BEN-YEHOSHUA y CAMERON, 1988**).

## 2. Sistema Cerrado

En este método, las frutas se sellan en un contenedor y se mide la acumulación de CO<sub>2</sub> y C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> y/o el agotamiento de O<sub>2</sub> en la atmósfera del contenedor sellado (utilizando un cromatógrafo gaseoso, DCT para CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>; AIGR para la detección de CO<sub>2</sub>; DILL para la detección de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) después de un período de tiempo específico, usualmente 1 hora.

**Limitación:** La principal limitante del sistema cerrado consiste en que este no es un sistema equilibrado, y el agotamiento de O<sub>2</sub> y la acumulación de CO<sub>2</sub> ó C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> puede afectar el tejido y su tasa de respiración (**KADER, 1987**). Estos problemas pueden ser vencidos manteniendo el período de incubación al mínimo posible (usualmente una hora).

Las tasas de absorción de O<sub>2</sub> y producción de CO<sub>2</sub> y C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> se calculan de la manera siguiente:

**a. Tasa de absorción de O<sub>2</sub>** (cm<sup>3</sup> kg<sup>-1</sup> hora<sup>-1</sup>):

$$\frac{(O_2)_{inicial} - (O_2)_{final}}{100} \times (V_{jarra} - V_{fruta}) \times \frac{100}{P_{fruta}} \times \frac{60}{T}$$

**b. Tasa de producción de CO<sub>2</sub>** (cm<sup>3</sup> kg<sup>-1</sup> hora<sup>-1</sup>):

$$\frac{(CO_2)_{final} - (CO_2)_{inicial}}{100} \times (V_{jarra} - V_{fruta}) \times \frac{100}{P_{fruta}} \times \frac{60}{T}$$

**c. Tasa de producción de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>** (μl kg<sup>-1</sup> hora<sup>-1</sup>):

$$\frac{(C_2H_4)_{final} - (C_2H_4)_{inicial}}{100} \times (V_{jarra} - V_{fruta}) \times \frac{100}{P_{fruta}} \times \frac{60}{T}$$

Donde:

(O<sub>2</sub>) inicial = Concentración inicial de oxígeno (%)

(O<sub>2</sub>) final = Concentración final de oxígeno (%)

(CO<sub>2</sub>) inicial = Concentración inicial de dióxido de carbono (%)

(CO<sub>2</sub>) final = Concentración final de dióxido de carbono (%)

(C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) inicial = Concentración inicial de etileno (ml<sup>-1</sup>)

(C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) final = Concentración final de etileno (ml<sup>-1</sup>)

Vjarra = Volumen del contenedor o jarra (cm<sup>3</sup>)

Vfruta = Volumen de fruta (cm<sup>3</sup>)

Pfruta = Peso de fruta (kg)

T = Tiempo (horas).

## 2.2. Cambios Físico-Químicos en la Maduración de Bananos

La maduración de la fruta es el resultado de una serie de cambios complejos, muchos de los cuales probablemente ocurren independientemente unos de otros (**BRADY, 1987**). La siguiente lista presenta algunos de los principales cambios que ocurren en la mayoría de los bananos, durante la maduración:

- Cambios en el color de la cáscara y de la pulpa.
- Transformación del almidón en azúcar.
- Cambios en la proporción pulpa/cáscara (y facilidad para pelar).
- Cambios en la firmeza de la pulpa o el ablandamiento de la pulpa.
- Cambios en el contenido de sólidos solubles totales.
- Cambios en el pH y acidez titulable total de la pulpa.
- Cambios en la humedad de la cáscara y la pulpa y en el contenido de materia seca.
- Cambios en la tasa de respiración y producción de etileno.

### 2.2.1. Cambios de la coloración de la cáscara y de la pulpa

La desaparición del color verde y el correspondiente amarillamiento de la piel de la banana están relacionados a la síntesis de los pigmentos (tales como carotenoides) y la descomposición de la clorofila (pigmento verde) (**AMMAWATH et al., 2001**). Los cambios externos en el color de la cáscara durante la maduración a menudo reflejan los cambios del color de la pulpa (**DEULLIN, 1963**). La aparición del color amarillo, en el caso de las bananas, es debido al desenmascaramiento y poco o ningún aumento de los niveles de carotenoides totales como lo demostró (**MEDLICOTT et al., 1992**).

La desaparición de la clorofila con la consecuente pérdida de la coloración verde, frecuentemente está asociado con la síntesis y/o revelación de los pigmentos variando de verde para amarillo. Muchos de estos pigmentos son carotenoides que contienen un átomo de 40 carbonos, pudiendo contener uno o más átomos de oxígeno en la molécula. Los carotenoides son componentes estables y, por eso generalmente permanecen intactos en los tejidos hasta ocurrir la senescencia. Los

carotenoides pueden ser sintetizados durante el estadio de desarrollo de las plantas, pero permanecen enmascarados en la presencia de la clorofila. Después de la degradación de la clorofila, los pigmentos carotenoides se tornan visibles (**WILLS et al., 1998**).

El color de la piel está correlacionado directamente con la proporción de almidón o azúcar en el banano; y cuando ellos llegan a estar completamente amarillos, ellos también alcanzan el máximo contenido de azúcar. (**STOVER y SIMMONDS, 1987**).

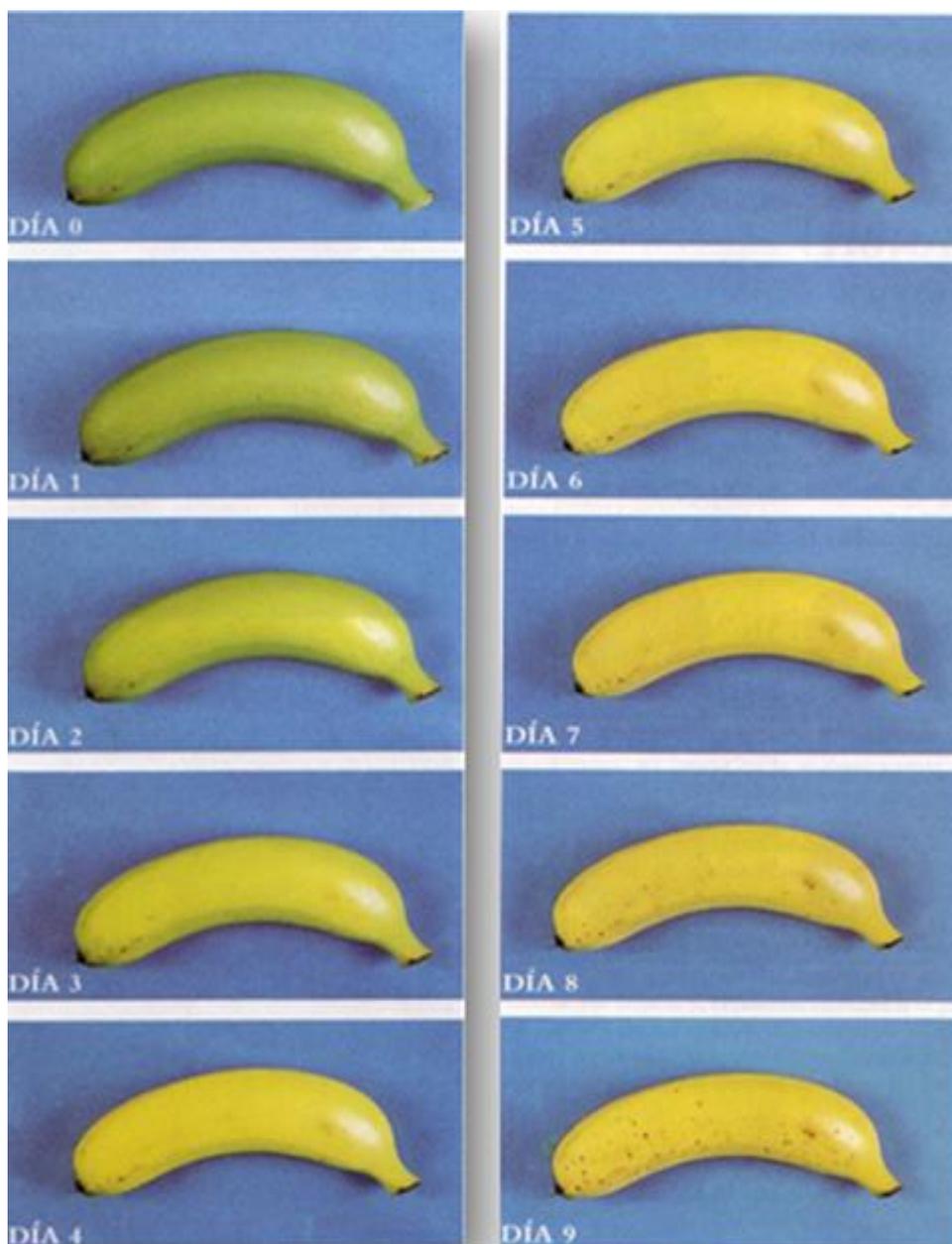
En la figura N° 6, se observa el color de la cáscara, lo que indica el grado de madurez alcanzado a 20 °C con aplicación de etileno y se puede comparar con una guía especial o tablas de color.

### **2.2.2. Transformación del almidón en azúcar**

El cambio químico más impresionante que ocurre durante la maduración postcosecha de los bananos 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). En los bananos de postre (por ejemplo, Cavendish), la descomposición del almidón y la síntesis del azúcar usualmente se completan al alcanzar la maduración total (grado del color de la cáscara 6-7), mientras que en el plátano esta descomposición es más lenta y menos completa y continúa en las frutas muy maduras y senescentes. (**MARRIOTT et al., 1987**).

Distintos métodos y procedimientos para evaluar el contenido de almidón (o azúcar) durante la maduración de las frutas (incluyendo bananos, bananos de cocción y plátanos) han sido descritos por varios investigadores (**AOAC, 1990**). Sin embargo, la mayoría de estos métodos son complejos, laboriosos y requieren de personal entrenado y tecnología costosa. Por lo tanto, un método fácil, rápido y de bajo costo para estimar el contenido de almidón en la fruta podría servir como un indicador útil de madurez.

La prueba del yodo es un método sencillo, rápido y de bajo costo para evaluar visualmente la conversión del almidón en azúcar durante la maduración de la fruta.



**Figura N° 6:** Grados de madurez del banano «Cavendish» (*Musa acuminata*, var. Williams). Las placas recogen los cambios de color de una pieza de plátano, a intervalos diarios, a 20 °C: Día 0, color inicial antes de la aplicación de etileno a una concentración de 100 ppm, durante 24 horas; Día 1, color inmediatamente después del tratamiento con etileno; Días 2-9 muestran el progresivo amarillamiento de la fruta. La concentración de sólidos solubles alcanza su máximo alrededor del día 8. Las manchas características de la fruta organolépticamente madura no aparecieron hasta el día 9.

**Fuente:** WILLS R, 1998.

### 2.2.3. Cambios de la relación pulpa/cáscara

La relación pulpa/cáscara es un índice bueno y consistente de la maduración de los bananos. La relación pulpa/cáscara aumenta en respuesta a la maduración (es decir, escala de color de la cáscara). Los cambios en las relaciones pulpa/cáscara durante la maduración de los bananos, indican 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. Durante la maduración, la concentración de azúcar en la pulpa aumenta rápidamente en comparación con la cáscara, contribuyendo de este modo a un cambio diferencial en la presión osmótica.

La cáscara pierde agua por transpiración tanto a la atmósfera, como a la pulpa por ósmosis (**STOVER y SIMMONDS, 1987**), contribuyendo de este modo a un aumento del peso fresco de la pulpa a medida que la fruta madura. Esto resulta en un aumento de la relación pulpa/cáscara durante la maduración.

### 2.2.4. Cambios en la firmeza de la pulpa

Bajo condiciones normales de almacenamiento, los bananos, sufren transformaciones de textura a medida que pasan a través del proceso de maduración. La fruta crujiente, dura y verde se convierte en una fruta amarilla con la pulpa interna tierna y suave en la etapa óptima de madurez, y se torna blanda a medida que avanza hacia la senescencia. La pérdida de la firmeza durante la maduración lleva a una calidad más baja y una mayor incidencia de daños mecánicos durante la manipulación y transporte. La pérdida de la firmeza de la pulpa durante la maduración varía de acuerdo al cultivar. La firmeza de la pulpa a menudo está relacionada con la maduración, implicando que, al progresar la maduración, la firmeza de la pulpa disminuye.

La pérdida de la firmeza o ablandamiento durante la maduración ha sido asociada con dos o tres procesos. El primero es la degradación del almidón para formar azúcar. El segundo proceso es la degradación de las paredes celulares o reducción en la cohesión de la lamela media debido a la solubilización de las sustancias pécticas (**SMITH et al., 1989**). El tercero es el movimiento de agua desde la cáscara hacia la pulpa debido al proceso de ósmosis.

### **2.2.5. Cambios del contenido de sólidos solubles totales**

Durante la maduración de los bananos, el contenido de sólidos solubles totales aumenta. Según **CHEFTEL et al. (1999)**, los bananos convierten su 25 % de almidón y 1% de su azúcar, en 20% de azúcar y 1 % de almidón, perdiéndose un 5% como energía utilizada en las reacciones bioquímicas. Sin embargo, la magnitud del aumento depende del cultivar. En la mayoría de las frutas maduras, el azúcar forma el principal componente de los sólidos solubles.

Ya que la cantidad de azúcar en las frutas usualmente aumenta a medida que las frutas maduran, el contenido de sólidos solubles de la fruta podría representar un índice útil del grado de madurez. El contenido de sólidos solubles varía entre los cultivares y entre los grados de madurez. Por ejemplo, en algunos cultivares, el contenido de sólidos solubles aumenta hasta un pico y luego disminuye (la caída en sólidos solubles totales puede ser debido a la conversión del azúcar de la pulpa en alcohol). En otros cultivares los sólidos solubles totales continúan su aumento con la maduración.

### **2.2.6. Cambios del pH y de la acidez titulable total de la pulpa**

El pH y la acidez titulable total de la pulpa son importantes características de calidad postcosecha en la evaluación de la calidad de maduración de la fruta. En la mayoría de los cultivares de bananos 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. Generalmente, 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.

Usualmente, los ácidos orgánicos disminuyen durante la maduración debido a la respiración o su conversión en azúcar (**WILLS et al., 1998**). Los ácidos orgánicos son importantes por suministrar un balance azúcar/ácido deseable, que da como resultado un sabor agradable a la fruta durante la maduración. La acidez titulable en los tejidos de la pulpa de la mayoría de los cultivares de bananos, muestra grandes aumentos durante la maduración o a medida que la maduración progresa. Por lo tanto, la acidez titulable total podría ser utilizada como un índice de maduración.

### **2.2.7. Cambios del contenido de humedad y de materia seca en la cáscara y en la pulpa**

El contenido de humedad y de materia seca en la cáscara y en la pulpa son importantes parámetros postcosecha en la evaluación de la calidad de maduración de los bananos. Durante la maduración, el contenido de humedad de la cáscara disminuye, mientras que el de la pulpa aumenta, debido a que la cáscara pierde agua liberándola tanto a la atmósfera, como a la pulpa.

En la mayoría de los cultivares, el contenido de materia seca de la cáscara y de la pulpa durante la maduración no cambia significativamente.

### **2.2.8. Cambios en la tasa de respiración y de producción de etileno**

Durante la maduración de los bananos, existe un tremendo aumento en la cantidad de etileno producido. Este aumento usualmente es acompañado por un incremento en la tasa de respiración de la fruta (un fenómeno llamado el climatérico). La tasa de respiración y de producción de etileno usualmente depende de la temperatura de almacenamiento, edad de la fruta y del cultivar **(KADER, 1987)**.

## **2.3. Maduración controlada de bananos**

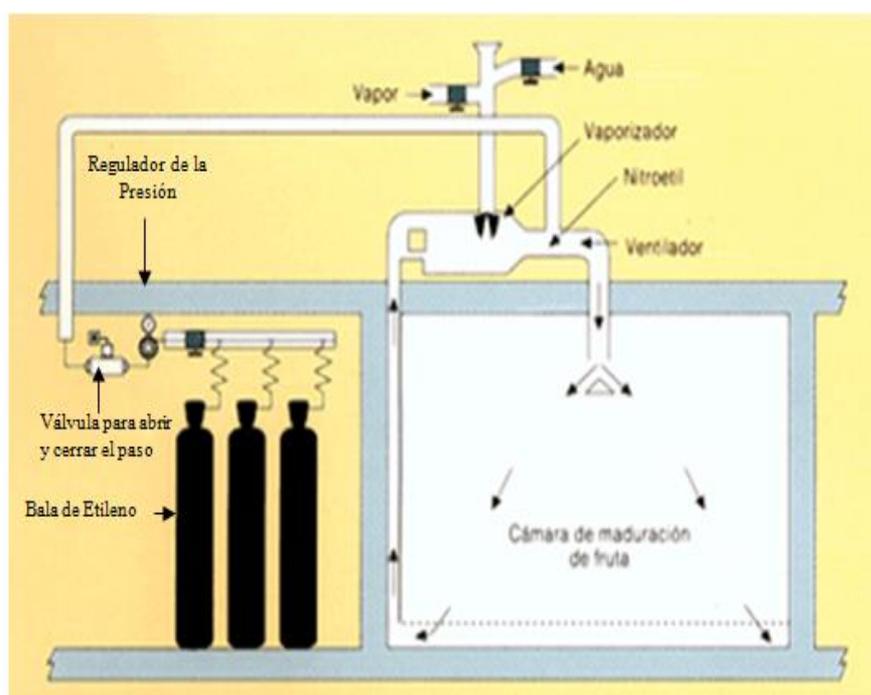
Condiciones óptimas son necesarias para obtener una maduración uniforme. El gas etileno es usado para limitar y modular la maduración en combinación con un control cuidadoso de la temperatura y la humedad. La maduración es a menudo iniciado usando 1000  $\mu\text{L/L}$  de etileno (1 Litro/ $\text{m}^3$ ) por 24 horas **(THOMPSON, 1996)**. Concentraciones óptimas diferentes han sido estudiadas para diferentes variedades (por ejemplo Gros Michel, 0.1 – 10  $\mu\text{L/L}$ ; Lacatan, 0.5  $\mu\text{L/L}$  y Silk 0.2 – 0.25  $\mu\text{L/L}$ ) **(REID, 1992)**.

La maduración controlada es hecha en cámaras frigoríficas especialmente construidas para este fin, siendo que la única diferencia, la instalación de exhaustores, con los cuales se realiza la renovación del aire interno de la cámara (Figura N° 7). Las paredes, el techo y el piso deben contener aislamiento térmico de etilo polietanol con espesor mínimo de 4 pulgadas. Las paredes y el techo, así como el aislamiento pueden ser de paneles pre – moldados. La puerta debe presentar un buen aislante y ser hermética a fin de evitar la pérdida del gas activador de madurez.

Las cámaras de maduración tienen la finalidad de desencadenar el proceso de maduración, cuando el amilógeno es convertido en azúcar y la cáscara desverdecida.

Una cámara para 600 cajas tipo torito (12 ton) debe tener 3.10 m. de altura, 6.50 m. de ancho y 4.20 m. de longitud. Para facilitar el enfriamiento no se debe colocar más que 10 toritos sobrepuestos y sobre ellos es necesario que haya un espacio para la circulación del aire **(MOREYRA, 1987)**.

Las cámaras deben ser hechas con capacidad para 10 a 12 ton de bananos. En las cámaras mayores hay siempre dificultades en la exhaustión del gas carbónico y largo tiempo para reducciones de temperatura, lo que provoca serios problemas en la calidad de maduración.



**Figura N° 7:** Inyección de etileno en una cámara de maduración controlada de banana.

**Fuente:** WILLIS R, 1998

Las cámaras deben ser previamente refrigeradas a 10 °C para después iniciar su abastecimiento con bananos. Este cuidado, visa ahorrar los compresores después de que ellos son cerrados. Solamente después de cargadas las cámaras y cerradas las puertas es que el compresor es prendido nuevamente **(MOREYRA, 1987)**.

Los bananos continúan su desarrollo fisiológico después de haber sido cosechados y su estado de madurez, cuando son colocados en la cámara de maduración, dependerá del estado en que son cosechados y de las diferentes condiciones para los cuales son consecuentemente sometidos.

### **2.3.1. Estado de los bananos cuando son cosechados**

La evaluación del grado de madurez de los bananos, cuando son cosechados, se basa en el diámetro de una fruta en el racimo. La medida es hecha en los lugares situados en el centro del racimo, en la cuarta o quinta línea, contando de arriba para abajo.

Como el racimo es constituido de varias líneas (10 a 12), que se van formando con la abertura de las partes del “corazón”, lo que ocurre en días consecutivos o alternados, se tiene, para un mismo racimo, líneas con diferentes edades. Por ejemplo, en un racimo con 10 líneas, la última línea formada será 10 días más joven que la primera, y uno en condiciones de temperatura y humedad óptimas para el florecimiento y el desarrollo de las frutas, o todavía, de 15 a 20 días de diferencia de edad, si ocurren condiciones de sequía y de baja temperatura. Esa diferencia de edades de las líneas puede causar una falta de uniformidad en la madurez de un lote de bananos, sino es hecha la separación del racimo en dos porciones; una conteniendo las de la base (1ª a 5ª ó 6ª), o sea, las más desarrolladas, que sean colocadas en una cámara; la otra, las líneas restantes (de la 6ª a la 10ª ó 12ª), más o menos desarrolladas, en otra cámara.

En el caso de no disponer de dos cámaras, la separación de las líneas es hecha del mismo modo, embalándolas, después, en lotes diferentes debiéndose dar preferencia del fondo de la cámara a las líneas de bananos menos desarrollados, y la parte anterior a las de más edad. Se tiene así, una maduración uniforme de los lotes, lo que facilitará la comercialización y la industrialización del producto, porque habrá una estandarización de la fruta en cuanto al tamaño y la madurez.

Para la exportación se aconseja cosechar las frutas con  $\frac{3}{4}$  de natural desarrollo, o sea de 32 a 34 mm de diámetro.

El diámetro de la fruta es medido con un calibre para banano, con diferentes tamaños que el cosechador deberá llevar consigo a fin de verificar si los frutos presentan los diámetros para la finalidad deseada de su utilización. **(BLEINROTH, 1985)**.

### 2.3.2. Colocación de los bananos en las cámaras

**(DEMERUTIS, 2012)** establece que las líneas de los racimos de los bananos deben ser sometidos, con o sin la cobertura del polietileno, en caja de cartón ondulado, con o sin perforaciones, conteniendo entre 10 a 18 Kg de fruta. Cuando la línea llega en embalaje de plástico no perforado, se recomienda que la parte superior de este embalaje sea abierto.

Generalmente las cajas con bananos son colocadas en filas en los palets. La altura de las filas de cajas no debe ser superiores a 8 cajas en 1 ó 2 palets. Se recomienda que un corredor estrecho (por ejemplo de 10 a 20 cm.) sea dejado en filas de palets en dirección de circulación del aire.

Con el uso generalizado del comercio de bananos en líneas, la madurez de bananos en racimos representa solamente un pequeña parte, inferior al 10% del tonelaje total de los bananos.

Cuando son colocados en la cámara de maduración:

- a. Los racimos de bananos acondicionados en caja deben ser sacados del embalaje, inspeccionados y cortados, si es necesario.
- b. Los racimos acondicionados en sacos de polietileno, éstos de acuerdo con **MOREYRA (1987)** deberán tener un espesor mínimo de 0.06 mm y ser multiperforados; además, pueden ser sacados del embalaje o dejados en ellas.

Los insumos que son desempacados con la porción terminada más ancho del raquí para abajo, no deben ser colocados en la misma cámara de maduración con las líneas o buques de banano, una vez que las condiciones de madurez son diferentes, el cambio gaseoso y el cambio de calor son más difíciles y es necesario abastecer ventilación de mayor eficiencia en la cámara.

### 2.3.3. Fases de maduración de los bananos

En la madurez de los bananos dos fases pueden ser definidas:

- ✓ Una primera fase, caracterizada principalmente por una liberación entera de calor, sin cambio en la coloración de la cáscara, en conexión con una intensa actividad fisiológica.
- ✓ Una segunda fase, caracterizada principalmente por un decline en la liberación de calor, asociado con la continuación de la hidrólisis del almidón con la formación de azúcares reductores y sacarosas, por un rápido cambio en el color de la cáscara y por el desarrollo del color.

#### 1) Primera Fase de Maduración

El inicio de la maduración es caracterizada por el aumento de la intensidad respiratoria del banano, hasta un máximo de la fase climatérica (a 18 °C, el valor máximo de la intensidad respiratoria es de 100 mg. de gas carbónico por Kg. del producto por hora, o sea, cuatro veces mayor que el valor de la intensidad respiratoria del banano verde) y por una considerable producción de calor. La cantidad de oxígeno de la atmósfera disminuye y la cantidad de gas carbónico aumenta. Entonces, la cámara de maduración debe mantener una cantidad de oxígeno suficiente para que el proceso de maduración no sea retardado. La humedad relativa debe ser mantenida alrededor del 95% y la circulación de aire mantenida de tal forma que favorezca los cambios de calor.

La aplicación del etileno acelera la tasa respiratoria del banano, causando su rápida madurez. El efecto de este gas es solamente constatado en la fase preclimatérica, siendo que después de haber iniciado la ascensión climatérica no tiene más acción sobre la fruta. Lo mismo ocurre después del punto máximo del climatérico.

El etileno puro puede ser aplicado en la cámara de maduración en la proporción de 1:1000 (una parte de etileno para 1000 partes de aire), lo que corresponde a 0.1% por 100 ppm. Por lo tanto, considerando que el etileno es explosivo en una concentración cerca del 3% en el aire, es preferible usar mezclas de nitrógeno y etileno conocidas comúnmente por Etil 5 y Azutil por cuestiones de seguridad.

Si fuese utilizada la mezcla nitrógeno/etileno (95% de nitrógeno y 5% de etileno) la concentración recomendada es de 20 litros de la mezcla por metro cúbico **(DEMERUTIS, 2012)**.

La cantidad de etileno o la mezcla de nitrógeno/etileno deben ser colocadas fuera de la cámara de maduración en un corredor bien ventilado. La cantidad de gas introducida debe ser bien controlada y la circulación del aire es esencial para obtener un alto grado de homogeneidad de la atmósfera en la cámara de maduración.

Después de la introducción del etileno, la cámara debe permanecer cerrada por un periodo de 24 horas **(DEMERUTIS, 2012)**.

## **2) Segunda Fase de Maduración**

Después de alcanzar un máximo, la intensidad respiratoria disminuye. La cáscara de los bananos, que cambiaron un poco de color durante la primera fase de maduración (la cáscara pasa de verde a amarillo-verdoso) se vuelve progresivamente más amarilla, siguiendo la degradación acelerada de los pigmentos clorofilianos en cuanto los pigmentos xantofílicos existentes son evidenciados. Durante esta fase, el color de la fruta se desarrolla. La humedad relativa debe ser reducida previa instalación de un dispositivo regulador de la humedad. **(DEMERUTIS, 2012)**.

### **2.3.4. Modos de conducción de la maduración**

La maduración puede durar de 4 a 8 días de acuerdo con el modo que es operado, que varía según el grado de desarrollo del banano, el estado fisiológico y sanitario (injurias, enfermedades de hongos) y el tiempo fijado para la venta al consumidor tres tipos de maduración **(Cuadros N° 2 a 4)**: rápido-duración de 4 días; normal-duración de 5 a 6 días; lento-duración de 8 días. Las recomendaciones contenidas en los cuadros 2 a 4, presentada por la **(DEMERUTIS 2012)**, se refieren a los bananos que hayan alcanzado un grado de maduración adecuado cuando son recogidos y que no fueron sometidos a condiciones adversas, tales como: muy largo el intervalo entre la cosecha y el almacenamiento, muy baja o muy alta la

temperatura durante el transporte, pérdida de peso excesivo, etc. Los embalajes utilizados para conducir los bananos son cajas de cartón.

**Cuadro N° 2: Maduración rápida de los bananos.**

| Parámetros                   | Días   |   |   |   |
|------------------------------|--|---|---|---|
|                              | 1º   | 2º  | 3º  | 4º  |
| Temperatura de pulpa         | 18 °C  | 18 °C   | 18 °C                                     | 18 °C                                     |
| Humedad Relativa             | 95 a 100%  | 95 a 100%                                       | 85 a 90%                                  | 80%                                       |
| Circulación de aire          | Continua, en circuito cerrado, tasa de 30 a 60.        | Continua, en circuito cerrado, tasa de 30 a 60. | En circuito cerrado a velocidad reducida. | En circuito cerrado a velocidad reducida. |
| Cambio de aire               | Una vez, durante 20 a 30 minutos o al final de 1º día. | --  | --  | --  |
| Etileno                      | 1000 ppm ó 1 litro por metro cúbico.                   | --  | --  | --  |
| Mezcla de nitrógeno/ etileno | 20000 ppm o 20 litros de la mezcla por metro cúbico.   | --  | --  | --  |

**Fuente: (DEMERUTIS, 2012)**

**Cuadro N° 3: Maduración normal de los bananos.**

| Parámetros                   | Días   |  |  |  |   |   |
|------------------------------|--|--|--|--|---|---|
|                              | 1º   | 2º   | 3º   | 4º   | 5º  | 6º  |
| Temperatura de pulpa         | 18 °C  | 16 °C  | 15 °C  | 15 °C  | 14 °C                                     | 14 °C                                     |
| Humedad Relativa             | 95 a 100%  | 95 a 100%                                      | 90%  | 90%  | 80%                                       | 80%                                       |
| Circulación de aire          | Continua, en circuito fechado, tasa de 30 a 60         | Continua, en circuito fechado, tasa de 30 a 60 | Continua, en circuito fechado, tasa de 30 a 60 | Continua, en circuito fechado, tasa de 30 a 60 | En circuito fechado a velocidad reducida. | En circuito fechado a velocidad reducida. |
| Cambio de aire               | Una vez, durante 20 a 30 minutos o al final de 1º día. | --   | --   | --   | --  | --  |
| Etileno                      | 1000 ppm ó 1 litro por metro cúbico.                   | --   | --   | --   | --  | --  |
| Mezcla de nitrógeno/ etileno | 20000 ppm o 20 litros de la mezcla por metro cúbico.   | --   | --   | --   | --  | --  |

**Fuente: (DEMERUTIS, 2012)**

**Cuadro N° 4: Maduración lenta de los bananos.**

| Parámetros                   | Días   |  |  |   |   |   |
|------------------------------|--|--|--|---|---|---|
|                              | 1º   | 2º   | 3º   | 4º a 5º                                   | 6º a 7º                                   | 8º  |
| Temperatura de pulpa         | 17 °C  | 15 °C  | 14 °C  | 14 °C                                     | 14 °C                                     | 14 °C                                     |
| Humedad Relativa             | 95 a 100%  | 95 a 100%  | 90%  | 90%                                       | 80%                                       | 70 a 80%                                  |
| Circulación de aire          | Continua, en circuito fechado, tasa de 30 a 60         | Continua, en circuito fechado, tasa de 30 a 60       | Continua, en circuito fechado, tasa de 30 a 60 | En circuito fechado a velocidad reducida. | En circuito fechado a velocidad reducida. | En circuito fechado a velocidad reducida. |
| Cambio de aire               | Una vez, durante 20 a 30 minutos o al final de 1º día. | --   | --   | --  | --  | --  |
| Etileno                      | --   | 1000 ppm ó 1 litro por metro cúbico.                 | --   | --  | --  | --  |
| Mezcla de nitrógeno/ etileno | --   | 20000 ppm o 20 litros de la mezcla por metro cúbico. | --   | --  | --  | --  |

**Fuente:** (DEMERUTIS, 2012)

### **2.3.5. Sistema de control en la cámara de maduración controlada**

#### **1) Renovación del Aire**

Las cámaras de maduración deben estar bien aisladas y provistas de sistema de calentamiento y enfriamiento. Además las cámaras necesitan circulación de aire y sistemas de ventilación, siendo importante una buena circulación de aire e intercambio (**SOMMER y ARPAIA, 1992**). La renovación del aire de la cámara es realizada en intervalos de 12 a 24 horas después del tratamiento, de acuerdo con la temperatura utilizada en la climatización, manteniéndose siempre el gas carbónico debajo de 0.5% del aire. El exceso de este gas (por encima de 1%) en el aire causa una coloración verde-amarilla en el fruto maduro, ablandamiento y pudrición de la pulpa y el retardo de la maduración (**LICHTENTHALER, 1987**)

EL cambio de aire o exhaustión tiene la función de remover los gases superfluos que interfieren con la maduración. Concentraciones de gas carbónico superiores a 1 % en la atmósfera conducirán a un retardo de la maduración de bananos; entonces se efectúan a ventilación en las cámaras de maduración para impedir ese acumulo (**HALL, 1986**). La exhaustión debe realizarse después de 12 horas de la primera aplicación del gas, y después cada 24 horas. Es efectuada por la abertura de las puertas de las cámaras, condicionándose los ventiladores del aire forzado en conjunto con un exhaustor instalado en una de las paredes de la cámara, de modo que ha de permitir que el aire circule en corriente continua. (**BLEINROTH, 1985**).

#### **2) Temperatura**

El control de la temperatura es el factor más importante cuando las bananas están madurando. El etileno es aplicado cuando la temperatura de la pulpa está alrededor de 14 - 18°C. A temperaturas menores de 13 °C, la banana puede sufrir enfriamiento, lo cual causa que la maduración sea dispareja. Limitar el aumento en la temperatura interna del banano es también un factor importante. Primero, el etileno es administrado por 24 horas al banano cuando este alcance la temperatura de 15.5 – 16.5 °C. Una vez iniciado, la maduración puede ser desacelerado, descendiendo la temperatura a 13 °C o acelerarlo, levantando la temperatura a

18.5°C (**SOMMER y ARPAIA, 1992**). Sabiendo que la mayoría de comerciantes compran en la etapa 4 de maduración.

La temperatura adecuada para la maduración de bananos es de 18 °C. Si la temperatura de la cámara durante la maduración fuese levemente superior a 21 °C, el banano quedará con la pulpa excesivamente aguada; hay aumento de sensibilidad a daños mecánicos y menos durabilidad. En temperaturas más elevadas, hay el “cocimiento” de las frutas, o sea, las cáscaras permanecen verdes, la pulpa se vuelve aguada rápidamente y se degradan, y el desarrollo normal del sabor no ocurre. (**HALL, 1986**). Además, a elevadas temperaturas la degradación de la clorofila puede ser detenida, pero la pulpa madura rápidamente produciendo frutos “verde-maduros”, o sea, con la cáscara verde y la pulpa madura (**MARRIOTT et al., 1999**).

Bajas temperaturas (inferiores a 12 °C); causan daños por el frío a la fruta, resultando en un producto no comestible y de coloración imperfecta.

Los bananos madurados en cámara tienen el proceso de conversión del amino hecho de forma lenta y completa. En las cámaras donde la temperatura no es controlada, esta conversión es parcial y el banano permanecerá ácido, con baja digestión. (**MOREYRA, 1987**).

### **3) Humedad Relativa:**

Se recomienda humedad relativa elevada de 95% constante durante la maduración con el objetivo de obtener mejor calidad de las bananas comparadas a la maduración con humedades relativas más bajas. La humedad puede ser elevada por vapor o aspersion (**SOMMER y ARPAIA, 1992**).

La humedad ejerce un papel importante y definido en el proceso de maduración de los bananos. Alta humedad relativa (85 a 95%), asociadas a temperatura de maduración adecuadas contribuye grandemente a mejorar el aspecto, la comerciabilidad y la vida útil del banano. En experimentos realizados por **KADER (1994)**, se verificó que en condiciones de baja humedad relativa (a bajo de 80%), durante la maduración los bananos presentaron frutas lesionadas demostrando una susceptibilidad bastante acentuada a los daños causados por el manipuleo.

### 2.3.6. Factores que conducen a una maduración imperfecta

(**DEMERUTIS, 2012**), señala como principales factores que conducen a una maduración imperfecta de los bananos los siguientes:

- a) Maduración irregular:** Temperatura no homogénea en la cámara de maduración, bananos con grado incompleto de maduración.
- b) Maduración muy lenta:** Bananos alterados por daños causados por el frío; considerable pérdida de agua de bananos antes de ser colocados en la cámara; grado insuficiente de desarrollo, cuando son recogidos; temperatura muy baja en la cámara de maduración, cámara con enranciamiento o la cantidad de etileno aplicado fue insuficiente.
- c) Coloración imperfecta:** Deterioro de bananos, debido al frío (en el campo o durante el transporte); temperatura de maduración muy elevada.
- d) Pulpa aguada y cáscara muy tierna:** Deterioro fisiológico, debido a la temperatura excesiva antes del transporte; temperatura de la pulpa muy alta durante la maduración debido a la regularización inexacta de las frutas dentro de las cajas de cartón.
- e) Desarrollo de podridos:** Estado fisiológico de los bananos (sensibilidad de las cáscaras, pedicelo y extremidades cortadas a las molestias de hongos, injurias debido al mal manejo, tratamiento sanitario postcosecha inadecuado, desinfección insuficiente de la cámara de maduración.

### 2.3.7. Salida de las frutas de las cámaras

Los frutos, cuando salen de las cámaras de maduración todavía deben estar con las extremidades verdes (“punta verde”); pero, la parte mediana ya amarillando, lo que indica haber sido bien procesada la maduración. Si la temperatura ambiente fuese elevada (más de 32 °C), es recomendable proceder a una exhaustión durante 30 minutos antes de retirar los frutos de la cámara, buscando elevar la temperatura progresivamente para 25 °C. Este cuidado es para evitar que los bananos sufran choques climáticos en esta fase, que pueden ocasionar la muerte de la célula de la cáscara y, consecuentemente no haber completado desarrollo.

Una vez retirada de la cámara, en el “punto verde”, el banano completa su maduración lentamente, posibilitando un buen tiempo para su comercialización. La fruta debe llegar a las manos del consumidor 30 horas después de la salida de la cámara y sólo está buena para el consumo al completar las 48 horas. En este caso, el consumidor está recibiendo fruta que sufrió total transformación amino en azúcares y su conservación, en términos de consumo podrá ser de hasta 8 días **(MOREYRA, 1987)**.

#### **2.4. Maduración de Bananos con Ethrel**

Según **AWAD et al. (1975)**, las frutas tratadas con 500 ppm de Ethephon, en inmersión durante 2 minutos, hicieron que los bananos alcancen el máximo del climaterio a 5 días antes que las frutas del control, o sea, en el 4° día después de la cosecha, las frutas estaban completamente maduras, mientras que las del control maduraron en el 9° día.

De igual manera, **ABOU AZIZ y TANAHY (1975)**, hicieron la aplicación del Ethrel en la forma de aspersión sobre los bananos, en diferentes dosis: 0; 500; 1000; y 2000 ppm. Las frutas fueron mantenidas a la temperatura de 21 a 24 °C y la evaluación de la maduración fue efectuada de acuerdo con la siguiente escala de colores:

1. Verde
2. Verde con trazos amarillos.
3. Más verde que amarillo.
4. Más amarillo que verde.
5. Extremidades verdes.
6. Totalmente amarillo.
7. Amarillo con pintas marrones.
8. Amarillo con grandes áreas marrones.

Los datos revelaron que la maduración fue muy rápida en los bananos tratados con 2 000 ppm y 1 000 ppm, tal como se aprecia en el **Cuadro N° 5**.

En cuanto a la composición química hay un aumento constante en la cantidad de sólidos solubles de las frutas tratadas con Ethrel, siendo que las frutas con 2 000 ppm presentaron cuando estaban completamente maduras una mayor cantidad de azúcares totales, en relación a los que fueron tratados con 1000 ppm y 500 ppm. El mismo factor ocurre con los azúcares reductores y no reductores.

El uso del Ácido-2-cloroetil-fosfónico, comercialmente conocido por Ethrel (Ethephon), se restringe al hecho de tratarse de un producto de rápida degradación, perdiendo su efecto cuando es guardado en recipientes y locales inadecuados y también la viabilidad económica de su aplicación deberá ser tomada en consideración (BLEINROTH, 1985).

**Cuadro N° 5: Efecto de diferentes concentraciones de Ethrel para la maduración de bananos entre 21 a 24 °C.**

| Periodo de maduración | N° de grado de Maduración |         |          |          |
|-----------------------|---------------------------|---------|----------|----------|
|                       | Control                   | 500 ppm | 1000 ppm | 2000 ppm |
| 0                     | 1                         | 1       | 1        | 1        |
| 3                     | 1                         | 3       | 5        | 5        |
| 6                     | 1                         | 5       | 6        | 6        |
| 9                     | 2                         | 6       | 7        | 7        |
| 12                    | 3                         | 7       | 8        | 8        |
| 15                    | 4                         | -       | -        | -        |
| 18                    | 5                         | -       | -        | -        |

*Fuente: ABOU AZIZ y TANAHY (1975).*

## 2.5. Acción y Efecto del 1- Metilciclopropeno (1-MCP)

El etileno es una hormona natural que inicia y coordina los cambios que se producen desde que los frutos pasan de inmaduros a sobremaduros. El etileno debe unirse a algún receptor de la célula para inducir la cascada de efectos fisiológicos. La unión del etileno a material vegetal fue demostrada por **SISLER, (1979)**. Se ha descubierto que los ciclopropenos son efectivos antagonistas de la respuesta al etileno. El 1- MCP (1-metilciclopropeno) es el compuesto más efectivo dentro de los

inhibidores desarrollados recientemente. El 1-MCP presumiblemente se une a un metal en el receptor del etileno. Por lo tanto, competiría con el etileno por el receptor, previniendo una unión posterior en los tejidos tratados.

Se ha demostrado que el 1-MCP, en el caso específico de banano (*Musa sp*) Cavendish, es efectivo en el retardo de la maduración de la fruta; aun así, esta respuesta depende de la concentración, el tiempo de aplicación y la temperatura **(PELAYO et al., 2002)**.

El etileno podría actuar sustrayendo electrones de un metal (probablemente un ión cobre) del receptor, causando un proceso de sustitución de ligadura que induce a una respuesta. Al dejar el etileno el receptor, se forma un complejo activo. El etileno entonces no sería parte del complejo activo, pero sería el iniciador de su formación. El 1-MCP actúa de manera similar al etileno, pero no se separa del complejo, y por lo tanto no se forma el complejo activo. El etileno es liberado en unos pocos minutos mientras que al 1-MCP le demanda horas o incluso días.

La aplicación comercial de 1-MCP en la actualidad, está aprobado para su uso en frutas y hortalizas en Estados Unidos, Argentina, Chile, Nueva Zelanda, México, Sudáfrica, Colombia, Brasil, Costa Rica, Guatemala, Israel, Reino Unido y está en trámite, pendiente de registro, en la Unión Europea, Japón, Corea y Canadá.

Este producto tiene ciertas características que lo hacen muy seguro: es efectivo en dosis extremadamente bajas (del orden de las partes por billón), tiene un modo de acción no tóxico, es químicamente similar a sustancias naturales y deja muy bajos residuos en los frutos luego del tratamiento (no más de 5 ppb).

**CHANG-YUEN y VINICIO (2005)**, evaluaron el 1-metil-ciclopropeno (1-MCP) en la maduración del banano (*Musa sp*) Cavendish, aplicado después del empaque en fruta para el mercado de EE.UU. y Europa; la fruta fue expuesta a 0, 20 y 30  $\text{nl l}^{-1}$  de 1-MCP, por 24 h. Posteriormente, fue sometida a simulación de transporte, según el mercado de destino (7 días EE.UU. y 15 días Europa). Finalizada la simulación se indujo el proceso de maduración con etileno. Las evaluaciones se realizaron cada 2 días, e incluyeron análisis de calidad externa (enfermedades postcosecha y desarrollo de color externo de la cáscara) y de calidad interna ( $^{\circ}\text{Brix}$ , firmeza, porcentaje de acidez titulable y tasa de producción de  $\text{CO}_2$ ). Una aplicación de 30  $\text{nl}$

l<sup>-1</sup> de 1-MCP, generó una ganancia de más de 4 días de vida de anaquel por encima de la fruta control. La apariencia externa y la calidad interna de la fruta no se afectaron de forma negativa por la exposición al 1-MCP, aunque se recomienda realizar pruebas sensoriales con consumidores en los mercados de destino.

Las evaluaciones iniciaron el día que la fruta completó la simulación de transporte, y se ejecutaron hasta que la fruta del tratamiento testigo alcanzó grado 5 de madurez, en ese instante el ensayo se dio por terminado. Variable evaluada:

**Color de la fruta:** con la tabla comercial de coloración de banano y también con un medidor de color electrónico Minolta Chromameter CR-300, para determinar los parámetros L\* a\* b\*. Donde a: es la variable asociada al desarrollo del color verde (a+ rojo, a- verde); b: es la variable asociada al desarrollo del color amarillo (b+ amarillo, b- azul); y L: es una variable asociada a la luminosidad o intensidad del color (L+ blanco, L- negro).

Para cada una de las curvas generadas en los tratamientos aplicados, las ecuaciones fueron aproximadas con polinomios de segundo grado (**Cuadro N° 6**), de la forma  $y = x^2 + x + a$ , donde:

y: valor de color comercial externo en la cáscara de la fruta

x: valor en días que demora en alcanzar ese grado

a: valor de la constante

**Cuadro N° 6: Valores de las variables del color externo en fruta de banano tratada con 1-MCP.**

| Tratamiento           | x <sup>2</sup> | x       | a      | r <sup>2</sup> |
|-----------------------|----------------|---------|--------|----------------|
| Control               | 0.1321         | -0.3636 | 2.4286 | 0.9705         |
| 20 nl l <sup>-1</sup> | 0.1108         | -0.4006 | 2.3715 | 0.9882         |
| 30 nl l <sup>-1</sup> | 0.0501         | -0.2542 | 2.2571 | 0.9785         |

**Fuente: CHANG-YUEN y VINICIO, (2005).**

### Resultados Evaluación Coloración externa

La fruta con destino a Europa presentó una mayor velocidad de maduración en comparación con la fruta con destino a EE.UU. ( $p < 0,05$ ), la evaluación del color externo se llevó a cabo con la escala comercial de coloración de banano en la tabla. Lo que concuerda con los datos de la medición de color con el colorímetro, donde esta fruta presentó valores menores en la variable **a-** y valores mayores de la variable **b+**. Además, fue fruta con colores más intensos que la fruta para el mercado de EE.UU (valores de L altos) (**Cuadro N° 7**).

**Cuadro N° 7: Coloración externa de fruta de banano tratada con 1-MCP, según mercado de destino, dosis de aplicación y compañía proveedora de la fruta.**

| Variabes              | CT     | a        | b        | L       |
|-----------------------|--------|----------|----------|---------|
| EE.UU.                | 2.85 A | -14.48 A | 38.90 A  | 56.98 A |
| Europa                | 3.78 B | -11.72 B | 40.78 B  | 60.60 B |
| Control               | 3.62 B | -12.36 B | 42.08 C  | 59.80 B |
| 20 nl l <sup>-1</sup> | 3.64 B | -11.63 C | 40.42 B  | 60.39 B |
| 30 nl l <sup>-1</sup> | 2.69 A | -15.31 A | 37.02 A  | 56.18 A |
| Compañía 1            | 3.79 C | -11.47 C | 41.74 C  | 61.03 B |
| Compañía 2            | 2.65 A | -15.37 A | 37.84 A  | 57.40 A |
| Compañía 3            | 3.51 B | -12.46 B | -12.46 B | 57.93 A |

**Fuente: CHANG-YUEN y VINICIO, (2005)**

CT: color tabla; a: variable asociada al desarrollo del color verde (a+ rojo, a- verde); b: variable asociada al desarrollo del color amarillo (b+ amarillo, b- azul); L: variable asociada a la luminosidad o intensidad del color (L+ blanco, L- negro).

Las diferencias de coloración se acentúan en la dosis de 30 nl l<sup>-1</sup> de 1-MCP, ya que resulta ser la fruta con el tiempo de avance de desarrollo de coloración -de verde a amarillo- más lento.

Sin embargo, entre el control y 20 nl l-1 no hubo diferencias ( $p < 0,05$ ) en los valores de coloración externa, medidos con la tabla comercial, lo que podría indicar, en este caso, que para que la aplicación del 1-MCP sea efectiva en fruta después de empacada se necesita una dosis  $> 20$  nl l-1.

Las diferencias significativas entre los valores de las variables L, a, b, obtenidos con el colorímetro, para esta misma variable (Cuadro N° 7), hace suponer que el ojo del evaluador, no es capaz de detectar pequeñas variaciones en el avance de la coloración, de verde hacia amarillo.

En el análisis por compañía, estas resultaron ser significativamente diferentes. La fruta de la compañía 1 presentó grados de madurez mayores, según la tabla de color. Por otro lado, la fruta de la compañía 2, tiene valores menores, esto coincide con el comportamiento de la tasa de respiración de la fruta -mayor en la compañía 1 y menor en la compañía 2 (**Cuadro N° 8**).

**Cuadro N° 8: Condiciones de calidad interna en fruta de banano tratada con 1-MCP, según mercado de destino, dosis de aplicación y compañía proveedora de la fruta.**

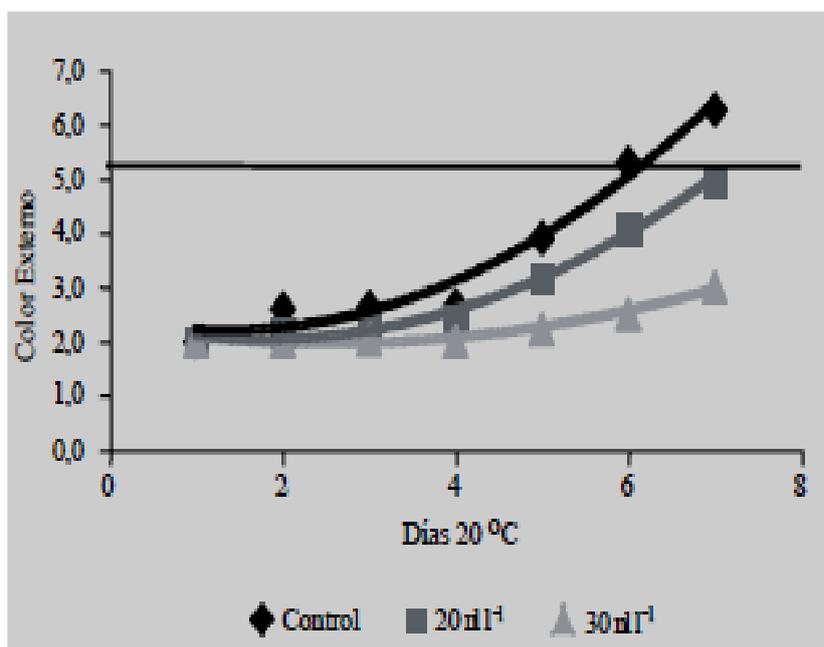
| <b>Variables</b>      | <b>F</b> | <b>°Bx</b> | <b>%Ac</b> | <b>CO<sub>2</sub></b> |
|-----------------------|----------|------------|------------|-----------------------|
| EE.UU.                | 3.50 B   | 8.80 A     | 0.28 A     | 141.73 A              |
| Europa                | 1.95 A   | 13.03 B    | 0.28 A     | 174.95 B              |
| Control               | 2.63 A   | 11.67 A    | 0.31 A     | 198.70 C              |
| 20 nl l <sup>-1</sup> | 2.47 A   | 11.27 A    | 0.31 A     | 164.29 B              |
| 30 nl l <sup>-1</sup> | 3.08 B   | 9.82 A     | 0.27 A     | 112.03 A              |
| Compañía 1*           | 2.46     | 10.54      | 0.30       | 192.20 C              |
| Compañía 2            | NA       | NA         | NA         | 117.93 A              |
| Compañía 3            | NA       | NA         | NA         | 164.20 B              |

**Fuente:** CHANG-YUEN y VINICIO, (2005).

F: firmeza de la pulpa, kg f; °Bx: porcentaje de sólidos solubles; %Ac: porcentaje de acidez titulable; CO<sub>2</sub>: tasa de producción de CO<sub>2</sub>, mg kg h<sup>-1</sup>. NA: no aplica porque estas variables fueron analizadas sólo para una compañía que se escogió al azar.\* Valores de las medias de las variables de firmeza, °Bx y %Ac para la compañía 1.

Letras iguales indican que no hay diferencias significativas.

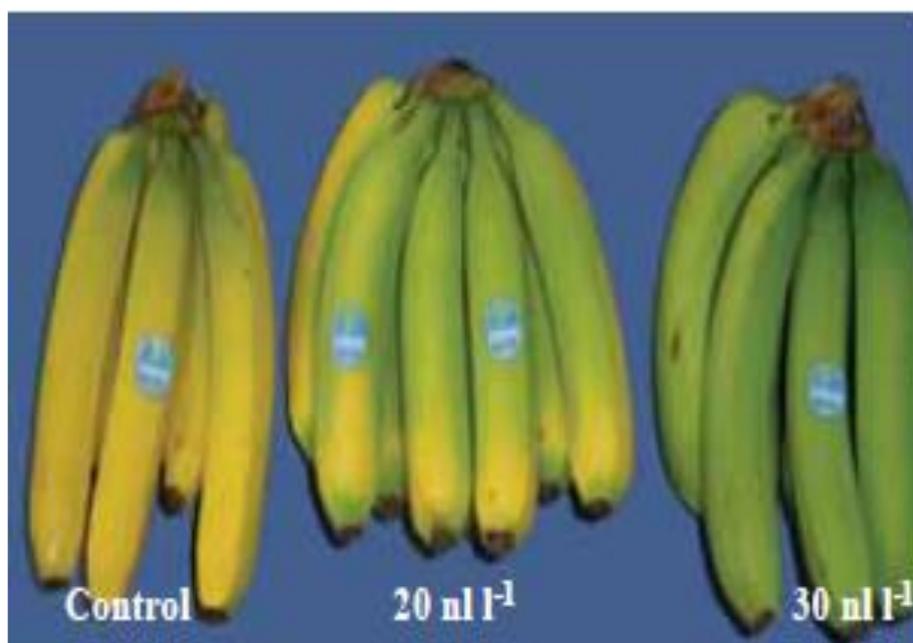
Al hacer el análisis de vida útil en anaquel, en general la fruta tratada con 30 nl l-1 de 1-MCP, llega al grado comercial (color 5) en un tiempo mayor que la fruta del control. La diferencia entre el control y 20 nl l-1 es menor que entre 20 y 30 nl l-1 (Figura N° 8).



**Figura 8:** Desarrollo del color externo (según tabla comercial) de fruta de banano tratada con 1-MCP.

**Fuente:** CHANG-YUEN, K. y VINICIO S., M. 2005

Cuando se proyectó las ecuaciones matemáticamente (**Cuadro N° 6**) para el color comercial 5, el control alcanza esta condición a los 6 días después de la aplicación del etileno, mientras que la fruta tratada con 20 y 30 nl l-1 lo hace en 7 y 10 días, respectivamente. En la **Figura N° 9**, puede apreciarse el efecto de los tratamientos en el momento en que el testigo ya había alcanzado el grado de maduración o color externo 5.



**Figura 9:** Efecto de los tratamientos de 1-MCP sobre el desarrollo de color externo de fruta de banano Cavendish evaluada 6 días después de la inducción de la maduración.

**Fuente:** CHANG-YUEN, K. y VINICIO S., M. 2005

**CHANG-YUEN y VINICIO, (2005)**, condujeron ensayos de aplicación de 100, 150 y 250 nl l<sup>-1</sup> de 1-MCP en fruta en proceso de maduración (color 3), con el objeto de extender la vida amarilla de banano Cavendish. En el caso de fruta con destino a EE.UU., se logró una extensión de vida útil de anaquel de 2 días con la dosis de 250 nl l<sup>-1</sup>. Esto permitió concluir que resultaría más efectivo aplicar una dosis pequeña de 1-MCP a fruta, inmediatamente después de empacada, (grado 1), antes o durante el transporte, que aplicar una dosis alta en fruta de grado comercial 2 y 3, después del transporte, más la aplicación del etileno para inducir maduración.

### **III. METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTOS**

El presente informe de ingeniería se realizó mediante la búsqueda de la información básicamente secundaria, la misma que se hizo un análisis de dichas fuentes, siendo recabadas en las bibliotecas especializadas de las Facultades de Ingeniería Agroindustrial, Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Martín, Ministerio de Agricultura, Centro de Desarrollo e Investigación de la Selva - CEDISA, entre otras entidades relacionadas con el tema. Así también en el Internet, investigaciones realizadas y páginas relacionadas a la Maduración Controlada y Color de Bananos, etc.

#### IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LA INFORMACIÓN

Los procesos más eficientes en donde se logra la mejor calidad de fruta madura, involucra cámaras de maduración con ventilación, temperatura y humedades controladas, y con la aplicación del gas etileno en concentraciones específicas.

En el proceso de maduración de los bananos, la producción de etileno endógeno se incrementa de forma continua, como confirman los análisis efectuados durante 10 días de fruta no envasada almacenada a 14°C, 80% HR. La tasa de respiración experimenta un incremento transitorio asociado con un incremento de la producción y la sensibilidad al etileno (**KADER, 1987**), si bien sufre un descenso aproximadamente a los seis días, -disminución de la producción del CO<sub>2</sub>,- que puede obedecer al periodo de “crisis climatérica” del banano, 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.

- **Cambio en el Color:** Los bananos madurados a 20°C y 18.8 °C y 90% de humedad relativa, alcanzaron un grado 4 al tercer día, esto concuerda con **PALMER, (1971)**, quien determinó que el cambio de color de la cáscara verde a la amarilla, se inicia un poco después del pico climatérico y la fruta alcanza un amarillo fuerte cerca de 3 a 7 días a la temperatura normal de maduración.
- Además, **DE SOUZA (2003)**, observó un índice de cambio de color de la cáscara, durante la maduración a temperaturas de 16 °C a 25°C y a mayores temperaturas el cambio de color se realiza en menos días.
- **GARCIA et al. (2007)**, maduraron bananos a 25°C con 1000 ppm de Ethrel y este alcanzó un grado 4 (amarillo predominante) en 2 días. También **BURG y BURG, (1965)**, encontraron un banano madurado con etileno exógeno, llegando a grado 5 (amarillo verde en las puntas) en 3 días de madurado a 25°C.

- Los sólidos solubles aumentaron significativamente con el tiempo, de 3,81% en promedio en el día 0, en grado 2 (verde claro), hasta 13,82% en promedio el día 3 con grado de color 4, es decir, predominante amarillo. Esto se debe a que hay muchos factores que intervienen en el contenido de azúcar de la fruta como la variedad, el tamaño, fertilidad de suelos, posición de la fruta en la planta etc.
- Las pérdidas de peso, no presentan diferencias significativas, como lo confirma **PALMER (1971)**, ya que las pérdidas por evaporación disminuyen cuando la humedad relativa en el medio es alta. Esto coincide con lo que afirma **WILLS et al. (1998)**, quien dice que las pérdidas de agua a las temperaturas de maduración pueden ser altas a menos que se tengan humedades relativas altas. Además de que los frutos maduran mejor a humedades relativas de al menos 90% ya que ofrecen mejor aspecto al no arrugarse, y su calidad interna es mejor.
- La temperatura adecuada para la maduración de bananos es de 18 °C. Si la temperatura de la cámara durante la maduración fuese levemente superior a 21 °C, el banano quedará con la pulpa excesivamente aguada; hay aumento de sensibilidad a daños mecánicos y menos durabilidad. En temperaturas más elevadas, hay el “cocimiento” de las frutas, o sea, las cáscaras permanecen verdes, la pulpa se vuelve aguada rápidamente y se degradan, y el desarrollo normal del sabor no ocurre. (**HALL, 1986**).
- Según el estudio realizado por **CHANG-YUEN y VINICIO (2005)**, una aplicación de 30 nl l-1 de 1-MCP en la maduración del banano (*Musa sp*) Cavendish, después del empaque en fruta para el mercado de EE.UU. y Europa, genera una ganancia de más de 4 días de vida de anaquel cuando ésta es almacenada a 20°C, por encima de la fruta control; lo que indica que se pueda hacer una planificación en la cosecha y transporte, actuando de una manera favorable, tanto al productor como a los consumidores de este importante producto alimenticio, sin afectar las características organolépticas.

## V. PROPUESTA DE APLICACIÓN Y/O MEJORA

Las cámaras de maduración tienen como objeto preparar la fruta verde para su distribución a clientes finales, pero si la fruta se reseca, su calidad se ve afectada perdiendo el producto su valor comercial. La maduración de los bananos con etileno reseca el fruto, por lo cual al empezar la maduración es una carrera contra el tiempo para la comercialización.

Investigaciones por parte de los mayores productores de bananos y de organizaciones académicas recomiendan una humedad relativa de 95% para las cámaras de maduración. Una alta humedad relativa evita que el fruto se deshidrate mejorando su calidad, reduce las manchas en el fruto dando un color más parejo y alarga el proceso de maduración dándole al producto una vida útil más larga en estantería.

El sistema de humedad controlada Optiguide es la solución ideal para mantener y controlar una humedad relativa de hasta 95%-98% en cámaras de maduración, con un sistema confiable y que requiere poca mantención.

### **Funcionamiento:**

- El atomizador FogRight usa aire comprimido a alta velocidad para producir “neblina seca”, gotas de 2-5 micrones que se evaporan en forma inmediata, aumentando la humedad relativa sin mojar la fruta ni las superficies de la sala. La cascara del fruto absorbe la humedad que permanece en el banano. El proceso de maduración puede ser extendido en el tiempo dando como resultado un fruto de mejor calidad.
- El detector, Optisense Humidistat usa tecnología óptica para controlar humedades de hasta 95-98% sin saturarse. Es el más exacto y confiable lector de alta Humedad Relativa en el mercado.
- El sistema es modular, permitiendo su instalación en todo tipo de cámara, cerradas o de transición, con mercadería a granel o embalada.

**Beneficios:**

- Maduración más lenta significa una vida útil más larga del producto en estantería.
  - Vida útil más larga en estantería significa menos pérdidas.
  - Alta Humedad Relativa previene la aparición de manchas cafés.
  - Pulpa de la fruta permanece firme
  - Fruta de mejor calidad para mejores precios.
  - Instalación y manutención del sistema son sencillos.
- 
- Tradicionalmente, se apilaban en las cámaras de maduración los contenedores de bananos de manera que al menos dos de sus caras quedaran expuestas al aire circulante, para asegurar una temperatura uniforme de la fruta. En la práctica moderna, la fruta se empaca en cajas provistas de perforaciones, en palets, y la temperatura de la fruta se regula mediante la circulación forzada del aire.
- 
- El crecimiento de hongos en las cámaras de maduración se ve favorecido por las elevadas temperaturas y humedades relativas que éstas poseen, inclusive, este crecimiento se da en las paredes de la cámara, si éstas no están adecuadamente protegidas. Por ello es conveniente limpiar periódicamente la cámara con una disolución de hipoclorito sódico (cloro) y fumigarlas con formaldehído, impidiendo su rápido deterioro, reduciendo costos de mantenimiento y minimizando las pérdidas en las frutas.

## VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. CONCLUSIONES

De acuerdo con los objetivos planteados, se concluye:

- 1.- El banano se debe cosechar con la piel completamente verde pero fisiológicamente maduro, a este estado se le llama verde-maduro.

El diámetro y llenado de los frutos. A medida que los frutos maduran, las aristas de los mismos tienden a desaparecer. Para exportación y transporte marítimo el racimo se corta con un estado de madurez conocido como "lleno tres cuartos", cuando los dedos todavía son angulares. Cuando los viajes no son tan largos, se prefiere un estado de madurez intermedio conocido como "tres cuartos llenos o tres cuartos pesado". Para el autoconsumo, el racimo se puede dejar en la planta hasta que los dedos estén redondeados (llenos) ya que el peso del racimo aumenta considerablemente durante las últimas dos o tres semanas.

Otra forma de determinar el grado de madurez es a través del "índice de llenado", que es el peso del fruto interior de la primera o segunda mano, dividido entre su longitud. Por ejemplo se recomienda cortar el plátano Dwarf cuando su índice es de 7.9 a 8.3, valores que resultan de dividir el peso del fruto (133 a 140 g) entre su longitud (16.3 a 17.7 cm).

- 2.- Durante la maduración de los bananos, existe un tremendo aumento en la cantidad de etileno producido. Este aumento usualmente es acompañado por un incremento en la tasa de respiración de la fruta (un fenómeno llamado el climatérico). La tasa de respiración y de producción de etileno usualmente depende de la temperatura de almacenamiento, edad de la fruta y del cultivar.

En postcosecha el ETHREL estimula la maduración de frutos de bananos sumergidos durante 5 minutos en una solución de 2000 ppm, alcanzando su pico climatérico 5 días antes que los frutos no tratados.

3.- El color de los bananos, es probablemente el único factor por el cual el consumidor evalúa la calidad de la fruta. Por lo tanto, el color de la cáscara y de la pulpa de los bananos, representa importante criterio de selección postcosecha, podría indicar el estado de deterioro, infestación por enfermedades y/o contaminación. El color de la fruta influye significativamente sobre la calidad, que exige el mercado, y la aceptabilidad por parte de del consumidor de los bananos.

## **6.2. RECOMENDACIONES**

- Cosechar los bananos en un estado de madurez fisiológica, cuando estén firmes y verdes, condiciones en las cuales ellos pueden ser manipulados y transportados.
- Adquirir los productores de bananos, cámaras de maduración a fin de realizar un estricto sistema de control de parámetros tales como renovación de aire que debe realizarse después de 12 horas de la primera aplicación de gas, evitando el acumulo de CO<sub>2</sub>. Mantener una temperatura de 18 °C y alta humedad relativa (85 a 95%), para mejorar el aspecto, comerciabilidad y vida útil del banano.
- Aplicar Etrhel en dosis de (2000 PPM) óptimas durante la maduración controlada de los bananos, permitiendo así suministrar bananos en el estado de coloración que se desee al ritmo programado y alcanzando una excelente calidad organoléptica.
- Realizar trabajos de investigación en bananos en la Región San Martín, a fin de mejorar la productividad y la calidad del producto, para garantizar la seguridad alimentaria; toda vez que este producto es una alternativa agroalimentaria que traería muchos beneficios a agricultores y consumidores.
- Involucrar al Gobierno Regional y Gobiernos Locales a insertar dentro del Plan Operativo Anual de los programas sociales un rubro donde exista el compromiso de adquisiciones de banano como parte de la complementación alimentaria.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

1. ABOU, A. y TANAHY (1975). Ethylene in plant biology. New York. Academic Press. 302 pp
2. AOAC. (Association of Official Agricultural Chemists) 1990. Official Methods of Analysis. Washington, D.C.
3. AVENDAÑO, C. A. (1999). Evaluación del riesgo de daño en sistemas eléctricos de baja tensión por causa de los rayos bajo la metodología IEC. Grupo de Investigación en Protecciones Eléctricas de la Universidad Distrital "Francisco José de Caldas" Facultad Tecnológica. COLOMBIA.
4. AMMAWATH, W., CHE MAN, B., YUSOF, S. y RAHMAN, A. (2001). Effects of variety and stage of fruit ripeness on the physicochemical and sensory characteristics of deep-fat fried banana chips. J. Sci. Food Agric. Pp 1166 – 1171.
5. AWAD et al (1975). Etileno en la biología de postcosecha. In: Yahia, E.M. Ed. Memorias Simposio Nacional fisiología y tecnología postcosecha de productos hortícola en México DF. Ed Limusa. p 43 – 45
6. BEN-YEHOSHUA, S. y CAMERON, A. C. (1988). Exchange determination of water vapour, carbon dioxide, oxygen, ethylene and other gases of fruits and vegetables. Pp. 178-193 *in* Gases in plant and microbial cells. Modern methods of plant analysis. New series vol. 9 (H.F. Linskens and J.F. Jackson, eds.)
7. BLEINROTH E. W. (1985). Materia prima in: Bananos. Da Cultura Ao processamento E Comercializacao o serie frutas tropicais. Ital 1:75 -94
8. BRADY, C. J. (1987). Fruit ripening. Annu. Rev. Plant Physiol. 38:155-178.
9. BURG, S. P. y BURG, E. A. (1965). Ethylene action and the ripening of fruits. Ethylene influences the growth and developments of plants and is the hormone, which initiates fruit ripening. Science. Pp 1190-1196.
10. CHANG-YUEN, K. y VINICIO S. M. (2005). Efecto del 1-metil-ciclopropeno (1-MCP) en la maduración del banano. Agronomía Costarricense 29(3). Pp 211 – 220
11. CHEFTEL, J.C., CHEFTEL, H. y BEZANÇON P. (1999). Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos. ACRIBIA. Zaragoza (España).

12. DADZIE, B. K. (1994). Quarterly report for the INIBAP/FHIA/NRI (ODA Holdback) project on post-harvest cooking banana and plantain characterization (October - December, 1993).
13. DADZIE, B.K. y ORCHARD, J.E. (1987). Evaluación rutinaria postcosecha 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.
14. DEMERUTIS, C. (2012). Alternativas prácticas a la maduración controlada del banano (Musa AAA) en zonas de producción. Universidad Earth, Las Mercedes de Guácimo, Limón, Costa Rica.
15. DE SOUZA, B. (2003). Amadurecimento e qualidade da banana “prata” (Musa AAB subgrupo prata) submetida a diferentes concentrações de etileno. Tesis presentada a la Universidad Federal de Viçosa. Minas Gerais. Brasil. Pp 1 – 83.
16. DEULLIN, R. (1963). Measure de la couleur de la pulpe de la banane en phase préclimactérique. *Fruit* 18:23-26.
17. DOMÍNGUEZ, M. y VENDRELL, M. (1994). Effect of ethylene treatment on ethylene production, EFE activity and ACC levels in peel and pulp of banana fruit. *Postharvest biology and technology*. Pp 167-177.
18. GALVAN, V. (1992). Cultivo de Plátanos en el Perú. Madrid – España. Ediciones Mundi – Prensa. Pág. 139 – 147.
19. GARCIA, T., CHAPARRO, L., DURAN, L., AVILA, E. y BARRIOS, B. (2007). Efecto del ETHEPHON (Ethrel) y el tiempo de almacenamiento sobre la maduración de banano (Musa AAB cv. Harton) bajo refrigeración. *Revista Bioagro*. Volumen 19 (2).
20. HALL, M.A. (1986). Ethylene receptors. En: *Hormones, receptors and cellular interactions in plants* (Chadwick, C.M. & Garrad, J.R., eds). Cambridge Univ. Press, Cambridge, United Kingdom. pp. 69-89.
21. HUNTER, R. S. (1975). *The measurement of appearance*. Wiley, New York.
22. INIA (Instituto Nacional de Innovación Agraria). 2010. Tecnología para la producción rápida de semilla (hijuelos) de Banano (Musa sp.) en campo. INIA-U.O. El Chira, Piura.

23. JOHN, P. y MARCHAL J. (1995). Ripening and biochemistry of the fruit, IN: Gowen S. Bananas and plantains, Natural Resources Institute and Department of Agriculture University of Reading, UK, Chapman & Hall.
24. KADER, A. A. (1987). Respiration and gas exchange of vegetables. Pp. 27-30 *in* Post-harvest physiology of vegetables. (J. Weichmann, ed.). Marcel Dekker Inc., New York.
25. KADER, A. A. (1994). Fruit maturity, ripening and quality relationships. *Perishables Handling Newsletter* 80:2.
26. KNEE, M. (1980). Methods of measuring green colour and chlorophyll content of apple fruit. *Jou. Food Technol.* 15:493-500.
27. LICHTENTHALER, H. K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in enzymology*, v. 148. Pp. 350 - 382.
28. MARRIOTT, J., ROBINSON, M. y KARIKARI, S. K. (1987). Starch and sugar transformation during ripening of plantains and bananas. *Trop. Sci.* 32:1021-1026.
29. McGLASSON, W. B. (1985). Ethylene and fruit ripening. *Proceedings of the symposium, Ethylene in postharvest biology and technology of horticultural crops.* *HortScience* 20(1).
30. MCGUIRE, R. G. (1992). Reporting of objective colour measurements. *HortSci.* 27(12):1254-1255.
31. MEDLICOTT, A. P., SEMPLE, A. J., THOMPSON, A. J., BLACKBOURNE, H. R. y THOMPSON, A. K. (1992). Measurement of colour changes in ripening bananas and mangoes by instrumental, chemical and visual assessments. *Tropical Agriculture*, v. 69, n. 2. Pp 161 - 166.
32. MENDOZA, F. (2005). Characterization of surface appearance and color in some fruits and vegetables by image analysis. *Escuela de Ingeniería.* Pontificia Universidad Católica de Chile. Pp 1 – 56.
33. MOREYRA (1987). Efecto del etileno y carburo de calcio sobre la maduración y calidad de frutos. *Costa Rica. Agronomía Costarricense* 10(1/2):153 – 164.
34. PALMER, J.K. (1971). *The Biochemistry of fruits and their products. The banana.* Vol. 2. (A. C. Hulme, ed.). Academic Press, London. Pp. 65-105

35. PEACOCK, B. C. y BLAKE, J. R., (1970). Some effects of non-damaging temperatures on the life and respiratory behaviour of bananas. Queensland Journal of Agricultural and Animal Sciences. Pp 147-168.
36. PELAYO, C., VILAS-BOAS, V.B., BENICHO, M. y KADER, A. (2002). Variability in responses of partially ripe bananas to 1-metilciclopropene. Postharvest Biology and Technology 28: pp 75-85.
37. REID, M. S. (1992). Ethylene in Postharvest Technology IN: Kader A. A. Postharvest technology of Horticultural crops, second edition, technical editor, University of California, division of Agriculture and Natural Resources, Publication 3311. pp. 97- 108.
38. SALVADOR, A.; FISZMAN, S. y CALVO, C. (1999). Influencia del tiempo y temperatura de almacenamiento en el color externo de plátanos. Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos. España.
39. SISLER, E.C. (1979). Measurement of ethylene binding in plant tissue. Plant Physiology 64, 538 p
40. SMITH, N. J. S., TUCKER, G. A. y JEGER, J. (1989). Softening and cell wall changes in bananas and plantains. Aspects of Applied Biology 20:57-65.
41. SOMMER N. F. y ARPAIA, M. L. (1992). Postharvest handling systems: tropical fruits. Postharvest technology of Horticultural crops. Segunda edición, technical editor, University of California, division of Agriculture and Natural Resources, Publication 3311. pp.
42. STOVER R. H. y SIMMONDS, N. W. (1987). Bananas. Longman, Tropical agricultural series. Tercera edición.
43. THOMPSON, A. K. (1996). Fruit ripening conditions, recommended ripening of fruit.
44. WILLS, R., MC GLASSON, B., GRAHAM, D., y JOYCE, D. (1998). Introducción a la fisiología y manipulación postcosecha de frutas, hortalizas y plantas ornamentales. Cuarta Edición, CAB Internacional. 262 pp.
45. YANG, S. F. (1985). Biosynthesis and action of ethylene. Proceedings of the symposium, Ethylene in postharvest biology and technology of horticultural crops. HortScience 20. Pp. 41-45.

## VIII. ANEXOS

### ANEXO I: GLOSARIO

- **Acondicionamiento:** Tratamiento que se le da al producto para mejorar su apariencia, darle resistencia al manejo postcosecha y alargar su vida útil.
- **Antesis:** estado fisiológico de la apertura de las brácteas de una flor, antes de la polinización.
- **Ápice:** Parte de la fruta opuesta al sitio de localización del pedúnculo – punta.
- **Banano:** Para efectos de esta norma se entiende por banano, a la fruta de color verde al amarillo, de pulpa blanca a blanco cremoso, correspondiendo al género *Musa* y especie *Sapientum*.
- **Cadena Agroalimentaria ó cadena productiva:** Se refiere a la integración de los agentes y actividades económicas que intervienen en un proceso productivo, desde la actividad primaria hasta la oferta al consumidor final, incorporando procesos de empaque, industrialización o transformación que sean necesarios para su comercialización en mercados internos y externos.
- **Calidad superior:** Son todas aquellas características de un producto o servicio que le confieren un nivel diferenciado respecto a sus similares.
- **Corona:** Es el nombre con el cual se designa al tejido fibroso que une los pedúnculos de los frutos individuales del banano, manteniéndolos unidos en una mano o gajo.
- **Dedo:** Es el nombre que recibe el fruto del banano presentado de manera individual.
- **Desinfección:** Destrucción de organismos patógenos por medio de la aplicación de productos químicos o procesos físicos.
- **Diámetro Ecuatorial:** Es aquel que se mide perpendicularmente a la longitud de una fruta en su sección mayor. En el argot bananero corresponde al grosor del fruto y suele denominarse “grado”.

- **Gajo:** Se refiere a las secciones constituidas generalmente desde 4 hasta 9 dedos, unidos por una misma corona y que son obtenidas del corte de las manos del banano.
- **Índice de la Cosecha:** Indicador que señala el momento óptimo para la cosecha de la fruta.
- **Madurez fisiológica o punto sazón:** Grado de la maduración de las frutas en el cual son susceptibles, en condiciones apropiadas, de seguir transformándose y alcanzar la madurez de consumo. En este período las frutas pueden ser cosechadas, pero si el corte se efectúa antes, la maduración se vuelve muy irregular.
- **Madurez de consumo:** Estado fisiológico en el cual la fruta presenta las características físicas, químicas y sensoriales apropiadas para ser consumidas.
- **Mano:** Son las pencas que conforman un racimo. Se pueden definir comercialmente como el conjunto de varios frutos o dedos del banano, insertos en una corona –que no ha sido fraccionada.
- **Racimo:** Conjunto de manos unidas al raquis.
- **Raquis o pinzote:** Parte de la planta que mantiene unidas a las manos que conforman el racimo.
- **Trazabilidad:** Se refiere al sistema que se usa para lograr una identificación exacta y a tiempo de los productos, su origen y ubicación dentro de la cadena.

## **ANEXO II: CONOCIMIENTO DEL PRODUCTO**

### **1.1. Origen**

El banano, es uno de los frutos que ha estado presente en diversas culturas y civilizaciones humanas durante varios miles de años, ya que se considera una de las primeras frutas que cultivaron los agricultores primitivos. El lugar de origen de los bananos no es completamente claro, aunque se considera oriundo de las húmedas regiones tropicales del Sudeste de Asia, región que incluye el Norte de la India, Burma, Camboya y parte de la China del Sur, así como las islas mayores de Sumatra, Java, Borneo; las Filipinas y Taiwan. Los tipos comestibles triploides de *Musa acuminata* (grupo AAA) parecen originarse en Malasia, en la misma región que sus progenitores diploides.

### **1.2. Etimología y sinonimia**

El enciclopedista romano Plinio, uno de los primeros escritores que describió la especie, informó que los sabios, mientras filosofaban a la sombra del banano, muchas veces no comían otra cosa que el fruto de esa planta. Posteriormente, durante el siglo XVIII, el botánico Linneo, tomando en cuenta lo anterior le dio el nombre de *Musa sapientum* (Musa de los sabios).

El nombre “banano” provino de la costa de Guinea, en África Occidental, específicamente de las lenguas sherbro o temne de la costa de Sierra Leona, a principios del siglo XVI. La palabra “plantain” es más oscura, al parecer se halló primero en español “plátano”. Ambos fueron asimilados después por otras lenguas europeas; esos dos vocablos quedaron plenamente establecidos en inglés, en las Antillas, a mediados del siglo XVII.

En México, es común que al banano se le conozca entre la población con el nombre de plátano. En Canadá, E.U., Argentina, Brasil, Colombia, Costa Rica, España, Portugal, Francia, Italia, Alemania, entre muchos

otros, se le conoce como banano ó banana, en Cuba también se le llama platanito y guineo, con este último nombre guineo, también se le designa en Panamá, Puerto Rico y República Dominicana; y en Venezuela se le conoce además como Cambur.

### 1.3. Composición Nutricional del Banano

El banano en su composición y calidad nutritiva cuenta con 16 aminoácidos, de los cuales 9 son esenciales para el ser humano, incluyendo la histidina que es más recomendada para lactantes. Esta cualidad confiere mayor calidad a la proteína proveniente del banano. Además, el banano fresco contiene 10 minerales, entre ellos oligoelementos como el cobre, zinc, selenio y electrolitos como el sodio. Un banano cubre aproximadamente el 33% de las necesidades de potasio que un niño en edad escolar necesita diariamente, en el deporte ayuda a reponer minerales.

**Cuadro 1: Composición Nutricional del Banano**

| <b>Tabla Nutricional</b>     |              |                     |
|------------------------------|--------------|---------------------|
| Porción de Banano (126 g)    |              |                     |
| Calorías 110                 |              | Calorías de Grasa 0 |
| % Recomendado diario         |              |                     |
| Grasa Total 0 g              |              | 0%                  |
| Grasa Saturada 0 g           |              | 0%                  |
| Colesterol 0 mg              |              | 0%                  |
| Sodio 0 mg                   |              | 0%                  |
| Potasio 400 mg.              |              | 11%                 |
| Carbohidratos Totales 29 g   |              | 10 %                |
| Fibra Dietética 4 g          |              | 16 %                |
| Fibra Soluble 4 g            | Proteínas 1g | Azúcares 21 g       |
| Vitamina C 15 % <sup>x</sup> |              | Vitamina B6 20%     |

**Fuente: Moreiras O, Carvajal A, Cabrera L, Cuadrado M (2001).**

#### 1.4. Morfología y generalidades

El banano es una planta herbácea que consta de un tallo subterráneo cormo ó rizoma, del cual brota un pseudotallo aéreo; el cormo emite raíces y yemas laterales que formaran los hijos o retoños. Morfológicamente, el desarrollo de una planta del banano comprende tres fases: vegetativa, floral y de fructificación. La fase vegetativa es donde ocurre la formación de raíces principales y secundarias, en la fase floral aparecen las inflorescencias y durante la fructificación se realiza la cosecha de los frutos, los cuales son partenocárpicos.

En general, las distintas especies y variedades de banano se diferencian por su tamaño, la disposición y dimensiones de las hojas, la forma y tamaño de los frutos y por la conformación del racimo.

#### 1.5. Taxonomía del Banano

El banano pertenece a un grupo, probablemente de más de 30 especies conocidas bajo el nombre científico genérico de Musa. Las especies parentales del banano son Musa acuminata y Musa balbisiana; los bananos comestibles aparecieron a través de mutaciones o hibridaciones naturales de una o ambas especies, dando origen a grupos híbridos de los cuales se derivan los bananos y los plátanos. Posteriormente los agricultores ayudaron a mezclar y seleccionar las variedades. Botánicamente se tiene la siguiente clasificación taxonómica para el banano:

**Cuadro 2: Taxonomía del Banano**

| <b>Categoría</b> | <b>Grupo</b>    |
|------------------|-----------------|
| Reino            | Vegetal         |
| Clase            | Angiosperma     |
| Subclase         | Monocotiledónea |
| Familia          | Musáceas        |
| Género           | Musa            |
| Serie            | Eumusa          |
| Especie          | Sapientum       |

**Fuente: Wikipedia, Inc. 1987**

## 1.6. Variedades

Los cultivares comestibles del género *Musa* se originaron como se ha mencionado, a partir de la hibridación intra e interespecífica entre dos especies diploides silvestres de *Musa*, *M. acuminata* y *M. balbisiana*, que contribuyeron con los genomas A y B respectivamente. La poliploidía y la hibridación dieron origen a una cantidad de clones diploides, triploides y tetraploides, con diferentes intercambios de los genomas A y B. De esta manera, la mayoría de los cultivares son bananos AA, AAA, plátanos AAB y bananos de cocción ABB.

La mayoría de los cultivares de banano para postre de importancia comercial son parecidos y se les ha designado como Cavendish (*Musa* AAA) que nos ocupa, cabe señalar que en este caso no hubo hibridación, pero si poliploidía.

## 1.7. Importancia comercial

Actualmente el banano es uno de los cultivos más importantes en la agricultura, no sólo en nuestro país, sino también en el mundo.

Algunas de las características que le confieren importancia comercial son el considerársele como una de las frutas básicas en la alimentación humana debido a la sensación de saciedad que produce, así como por el elevado valor nutritivo que tiene.

## **ANEXO III: EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS POSTCOSECHA DURANTE LA COSECHA**

### **3.1. EVALUACION DE CARACTERÍSTICAS DEL FRUTO**

La evaluación de las características de la fruta durante la cosecha incluye lo siguiente:

**a) Peso de la fruta (g):** El peso de la fruta se determina pesando el dedo individual en una balanza (por ejemplo, en una balanza electrónica de Mettler, usualmente, con dos puntos decimales).

**b) Longitud de la fruta (cm):** Generalmente, la longitud de la fruta se determina midiendo la curvatura exterior del dedo individual con una cinta desde el extremo distal hasta el extremo proximal, donde se considera que termina la pulpa. Sin embargo, algunos investigadores determinan la longitud de la fruta de los dedos del banano, midiendo la curvatura interior de la fruta a partir de la juntura de la pulpa y del pedúnculo hasta la punta de la fruta, y otros la miden en línea recta desde el pedúnculo hasta la punta (extremo floral). Cualquier método que sea utilizado, es importante registrarlo.

**c) Circunferencia de la fruta (cm):** La circunferencia del dedo se determina midiendo la fruta individual con una cinta en su punto más ancho.

**d) Volumen de la fruta (cm<sup>3</sup>):** El volumen de la fruta se obtiene por el desplazamiento directo del volumen o pesando la fruta bajo agua como sigue:

- Pesar (en una balanza electrónica de Mettler con dos puntos decimales, usualmente) el contenedor con agua, con espacio suficiente para sumergir luego la fruta.
- Sumergir la fruta mientras el contenedor se encuentra todavía sobre la balanza.

Para evitar las formaciones de burbujas de aire en la superficie de la fruta, que causan lectura errónea, ponga unas pocas gotas de un

agente humedecedor o detergente en el agua para reducir la tensión superficial. Procure que la fruta no toque los lados o el fondo del contenedor manteniéndola bajo el agua con un objeto (determine el peso del objeto en la balanza antes de colocarlo en el agua).

- Lea el peso del contenedor más el agua más la fruta sumergida (con el objeto).
- La diferencia en gramos entre los dos pesos es igual al volumen de la fruta en centímetros cúbicos (cm<sup>3</sup>).

**e) Densidad de la fruta (gravedad específica):** La densidad de la fruta o la gravedad específica se obtiene dividiendo simplemente el peso de la fruta en el aire entre su volumen.

- Etiquete y pese un contenedor vacío (por ejemplo, un plato de aluminio) en una balanza de Mettler ( $\pm 0.0001$ ) y registre el peso (A).
- Coloque aproximadamente 30-50 g de muestras de cáscara o de pulpa frescas y molidas en el contenedor y registre el peso (B).
- Coloque las muestras en un horno de aire circulante a 100 °C durante un día (24 horas).
- Transfiera las muestras del horno a un aparato para disecar y refresque a temperatura ambiente.
- Pese las muestras nuevamente después del secado (C).
- El porcentaje del contenido de humedad y materia seca de la muestra se calcula de la siguiente manera:

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

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

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

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

**f) Relación pulpa/cáscara:** Se separan la pulpa y la cáscara, se pesan individualmente y se expresan como una relación pulpa/cáscara (es decir, el peso de la pulpa dividido entre el peso de la cáscara).

### 3.2. CUALIDADES POSTCOSECHA DURANTE LA COSECHA

Los métodos y procedimientos postcosecha para la evaluación de las características de calidad postcosecha durante la cosecha incluyen lo siguiente:

#### a) Firmeza de la pulpa

La firmeza de la pulpa de los bananos, se determina en las secciones transversales de la fruta de la manera siguiente:

- Corte transversalmente, en el punto medio, 1 cm de tejido de la fruta (es decir, la cáscara y la pulpa).
- Coloque la muestra sobre una plataforma de plexiglás o similar.
- Mida la fuerza necesaria para penetrar 1 cm del tejido de la pulpa con una sonda cilíndrica de 6 mm de diámetro, montada en un probador de firmeza de mesa, equipado con un manómetro electrónico de fuerza Salter de 0 – 10 kg.
- El valor registrado es la fuerza máxima necesaria para que la pulpa ceda a la punta de la sonda. La firmeza de la pulpa generalmente se registra en kilogramo-fuerza (kgf) o Newtons (N) (1 kgf = 9.80665 N).
- La temperatura de las muestras puede afectar las mediciones y debe ser normalizada. Es necesario registrar el diámetro de la sonda del penetrómetro.

#### b) Sólidos solubles totales

La medición con precisión de los sólidos solubles totales en las frutas requiere de métodos largos y tediosos. Sin embargo, comúnmente se utilizan dos métodos, menos difíciles, para estimar los sólidos solubles en el jugo de frutas. Uno mide la gravedad específica del jugo utilizando un hidrómetro.

El segundo método, y más popular, mide el índice refractivo del jugo utilizando un refractómetro. Abajo se describe sólo el segundo, ya que es el método más popular para medir el contenido de sólidos solubles totales en los bananos.

### **Medición del índice refractivo del jugo de la pulpa utilizando un refractómetro**

El índice refractivo (o el contenido de sólidos solubles totales) del jugo de la pulpa de bananos, se mide como sigue:

- Licuar en un mezclador de cocina 30 g del tejido de la pulpa (de la sección transversal de la fruta) en 90 ml de agua destilada, por 2 min. y luego filtre la mezcla (por ejemplo, a través de un papel de filtración).
- Coloque una gota del filtrado en el prisma del refractómetro, el refractómetro Atago, N-20, Modelo N, McCormick Fruit Tech., brix varía entre 0 y 20% a 20 °C.
- Dirija el refractómetro hacia una fuente de luz y lea el porcentaje de sólidos solubles totales.
- El valor registrado se multiplica por tres (debido a que la muestra inicial de la pulpa ha sido diluida tres veces con agua destilada).
- El porcentaje del contenido de sólidos solubles totales de distintas frutas varía dependiendo del estado de madurez, por ejemplo, en los bananos, el centro de la pulpa, o área locular, usualmente tiene un mayor contenido de azúcares que el tejido cortical. Por lo tanto, para obtener un porcentaje de SST preciso, es necesario tomar varias muestras de pulpa, tanto de la parte central (área locular) como del tejido cortical.

**Limitaciones:** La temperatura de las muestras puede afectar las mediciones de los sólidos solubles totales y debe ser normalizada. Se asume que el compuesto predominante en la solución o jugo de la fruta que se investiga, es la sacarosa o azúcar. Sin embargo, pueden

estar presentes otros compuestos como ácidos, vitamina C, aminoácidos y algunas pectinas.

### c) pH y la acidez titular total

#### **Medición del pH del jugo de la pulpa**

El pH del jugo de la pulpa de bananos, se mide de la siguiente manera:

- Pese 30 g de pulpa de banano y colóquela en un mezclador de cocina, añadiendo 90 ml de agua destilada, luego licúe por 2 min. y filtre (por ejemplo, a través de un papel de filtración).
- Lave el electrodo del medidor de pH en agua destilada y colóquelo en el filtrato.
- Permita unos minutos para que el medidor se estabilice para realizar la lectura.
- Registre el valor del pH del filtrato. Lave el electrodo del medidor con agua destilada y guarde como lo recomiendan las instrucciones del fabricante.
- Si no tiene un medidor de pH, use el papel indicador universal. Sumerja el papel en el filtrato preparado y compare el cambio de color con una tabla suministrada en el paquete del indicador. Identifique el color correspondiente y anote el pH.

**Medición de la acidez titular total** La acidez titular total de los bananos, se mide de la siguiente manera:

- Pese 30 g del tejido de la pulpa y colóquelo en un mezclador de cocina, añadiendo 90 ml de agua destilada. Luego licúe la mezcla por 2 minutos y fíltrela.
- Transfiera 25 ml de filtrato en un frasco cónico de 125 ml.
- Añada 25 ml de agua destilada y 4-5 gotas de indicador de fenolftaleína.

- Llene una probeta de 25 ml de capacidad con 0.1 N de hidróxido de sodio (NaOH) y ajuste la marca cero después de eliminar las burbujas.
- Titule con 0.1 N de hidróxido de sodio hasta que el indicador cambie su color a rosado/rojo.
- Registre el volumen titulado del NaOH añadido. Los resultados se expresan (por ejemplo, como miliequivalentes por 100 g de muestra) en términos del ácido predominante presente. En banano, el ácido málico es el predominante.

Cuando se usa un titulador automático, titule las muestras de la pulpa hasta que el punto final de fenolftaleína alcance el pH 8.1, con 0.1 N de NaOH.

**Limitaciones:** El método de fenolftaleína para determinar la acidez titular total depende del cambio de color del producto, desde incoloro hasta rosado/rojo. A veces, cuando el producto tiene mucho color, es difícil notar el cambio de color a rosado/rojo. Para determinar la acidez titular total de los bananos, el ácido predominante presente es el ácido málico, de aquí se asume que este es el único ácido presente.

#### **d) Humedad de cáscara y pulpa y contenido de materia seca**

Los contenidos de humedad y de materia seca de los bananos, se miden de la siguiente manera:

- Etiquete y pese un contenedor vacío (por ejemplo, un plato de aluminio) en una balanza de Mettler ( $\pm 0.0001$ ) y registre el peso (A).
- Coloque aproximadamente 30-50 g de muestras de cáscara o de pulpa frescas y molidas en el contenedor y registre el peso (B).
- Coloque las muestras en un horno de aire circulante a 100 °C durante un día (24 horas).
- Transfiera las muestras del horno a un aparato par disecar y refresque a temperatura ambiente.
- Pese las muestras nuevamente después del secado (C).

- El porcentaje del contenido de humedad y materia seca de la muestra se calcula de la siguiente manera:

Peso fresco de la muestra (D) = B – A

Peso de la muestra seca (E) = C – A

% del contenido de humedad =  $((D-E)/D) \times 100$

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