

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

FACULTAD DE CIENCIAS

DEPARTAMENTO DE QUIMICA

EFFECTO DEL RECUBRIMIENTO CON CERA EN EL PERIODO
POSTCOSECHA DE BANANO (Musa cavendish Lamb)

AURA VICTORIA MAZO GRAY

FERNANDO GARCIA BALCAZAR

Tesis de grado presentada como requisito
parcial para optar al título de Químico.

Bogotá D.E., Marzo de 1974

PRESIDENTE

Dra. ROSA GUZMAN

DIRECTOR

Dr. GUILLERMO RIVEROS

MIEMBROS DEL JURADO DE TESIS

Dra. RUTH de ESTRADA

Dr. JAIME GONZALEZ

Dr. GUSTAVO SANDOVAL

Dr. EDUARDO PINZON

"El presidente de tesis, el consejo de jueces de tesis
y el consejo examinador no son responsables de las ideas
emitidas por el candidato."

(Artículo 127 del reglamento de la Universidad Nacional
de Colombia).

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Guillermo Riveros, por su acertada dirección y especial interés en la realización del presente trabajo.

A la Dra. Rosa Guzmán, por su colaboración y orientación.

Igualmente hacemos expreso nuestro reconocimiento a las siguientes personas y entidades:

Dra. Ruth de Estrada del Departamento de Química de la Universidad Nacional.

Dr. Efraín Orozco del Programa de Plátano y Banano, del Instituto Colombiano Agropecuario.

Dr. Rafael Amézquita Asesor Técnico de los Programas Especiales de Corabastos.

Secciones de Química Instrumental y Fisicoquímica de la Universidad Nacional.

Instituto Colombiano Agropecuario, especialmente a los Programas de Fisiología Vegetal, Ingeniería de Procesos Agrícolas y Laboratorio de Investigaciones Médico Veterinarias.

INDICE

	Página
I. INTRODUCCION	1
II. REVISION BIBLIOGRAFICA	4
A. Maduración	4
B. Cambios en la maduración del banano	5
C. Métodos para preservar la vida postcosecha del banano	7
D. Respiración	10
E. Etileno	13
III. ASPECTOS BOTANICOS	21
A. Clasificación botánica del banano	21
B. Selección de la variedad	22
IV. MATERIALES Y METODOS	24
A. Métodos para el encerado de banano	24
B. Métodos para valuar el efecto del encerado en el metabolismo del banano	31
V. RESULTADOS Y DISCUSION	44
A. Acción del encerado en la maduración y vida de almacenaje del banano	44
B. Resultados del método utilizado en el análisis de	

	Página
gases	59
C. Efecto del encerado en la actividad respiratoria del banano	62
D. Efecto del encerado en el etileno producido por el banano	62
E. Relación entre la rata de respiración, producción de etileno y cambios de color	65
F. Efecto del encerado en la transformación de carbohidratos del banano	69
G. Efecto del encerado en la apariencia de la fruta	73
H. Efecto de la cera en las características organolépticas del banano	74
VI. CONCLUSIONES	76
VII. RESUMEN	78
VIII. BIBLIOGRAFIA	80
IX. APENDICES	87
A. Determinación del índice de madurez y pérdida de peso	87
B. Cálculos para la determinación de oxígeno . . .	88
C. Cálculos para la determinación de etileno . . .	90
D. Empaque de la columna cromatográfica utilizada en la determinación de etileno	91

E. Determinación de almidón	92
F. Determinación de azúcares totales	93

INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Tablas	Página
I. Efecto del método de aplicación y concentración de la cera en el índice de maduración de manos de banano almacenadas a 20°C y HR. de 90 %	45
II. Acción del número de recubrimientos en la rata de maduración de manos de banano almacenadas a 15°C y HR. del 90 %, aplicando cera sin diluir por inmersión	49
III. Acción del número de recubrimientos en la rata de maduración de manos de banano almacenadas a condiciones ambientales, 18°C y 77 % de HR., aplicando cera sin diluir por inmersión	50
IV. Efecto del número de encerados en la pérdida de peso de banano en dedos, recubiertos por inmersión con cera sin diluir, almacenados a 15°C y 90 % de HR.	54
V. Efecto del número de encerados en la pérdida de peso de banano en dedos, recubiertos por inmersión con cera sin diluir, almacenados a condiciones ambientales, 18°C y 77 % de HR.	55
VI. Rata de respiración, producción de etileno y cambio	

Tablas	Página
de color en banano almacenado a condiciones ambientales, 17 ^o C y HR. de 67 %	60
VII. Carbohidratos en pulpa de banano almacenado a condiciones ambientales, 17 ^o C y 67 % de HR.	70
VIII. Efecto del encerado en las características organo-lépticas del banano	75

Figuras

1. Empaque utilizado en el transporte y almacenamiento de banano	25
2. Escala de colores correspondiente a los estados de maduración del banano	27
3. Cámara de respiración	35
4. Sistema de extracción de muestras contenidas en un cilindro	41
5. Efecto de diferentes tratamientos con cera en la maduración del banano	46
6. Efecto del número de encerados en la maduración de banano almacenado a 15 ^o C y 90 % de HR.	52
7. Efecto del número de encerados en la maduración	

de banano almacenado a 18 ^o C y 77 % de HR.	53
8. Efecto del número de encerados en la pérdida de peso durante la maduración de banano almacenado a 15 ^o C y 90 % de HR.	57
9. Efecto del número de encerados en la pérdida de peso durante la maduración de banano almacenado a 18 ^o C y 77 % de HR.	58
10. Efecto del encerado en la actividad respiratoria del banano	63
11. Efecto del encerado en la producción de etileno de banano	64
12. Relación entre la tasa de respiración, producción de etileno y desarrollo del color de la piel de banano no tratado	66
13. Relación entre la tasa de respiración, producción de etileno y desarrollo del color de la piel de banano encerado	68
14. Variación en el contenido de almidón durante la maduración del banano	71
15. Variación en el contenido de azúcares totales durante la maduración del banano	72
16. Efecto de la cera en la apariencia del banano	73

Cromatogramas

Página

1. Rata de consumo de oxígeno en banano	37
2. Rata de producción de etileno en banano	40

I. INTRODUCCION

I. INTRODUCCION

El banano genera actualmente divisas al país por un valor aproximado de 22 millones de dólares anuales (18). La producción en 1973 en un área cultivada de 16.300 hectáreas, fué de 370.000 toneladas, de las cuales se exportaron 275.000 toneladas.* La producción ha aumentado en los últimos años, por esta razón es necesario mejorar las técnicas de conservación para incrementar el mercado internacional y local.

El banano no resiste almacenamientos por debajo de 12.5°C, porque se originan daños por enfriamiento (29); a estas temperaturas de almacenaje se favorece la rápida maduración de la fruta. Entre los cambios asociados con la maduración se encuentra la pérdida de firmeza, la cual incrementa la susceptibilidad al daño mecánico; por otra parte las golpeaduras relacionadas con transporte y manipuleo de la fruta madura, además de desmejorar su aspecto, forman sitios propicios para el desarrollo de hongos. Por estas razones el mercadeo de banano requiere una planeación minuciosa en todas sus etapas, desde la plantación, hasta la venta al por menor. Una interrupción de corta duración en cualquiera de ellas, puede bastar para inutilizar la totalidad de un cargamento.

Los métodos para prolongar la vida postcosecha del banano son de gran importancia económica porque eliminan las pérdidas de grandes

* Efraín Orozco, Programa de Plátano y Banano del ICA, Diciembre 1973. "Comunicación personal".

cantidades de fruta. Actualmente el productor bananero en Colombia no emplea ningún medio para extender la vida de almacenaje del fruto, a pesar de existir información sobre varios métodos que pueden ser utilizados con tal fin. El costo puede ser limitante, por esta razón es necesario evaluar nuevas alternativas con el objeto de obtener métodos efectivos y económicos para prolongar la vida útil del banano.

Ben-Yehoshua (6), observó una marcada inhibición en la maduración de banano recubierto con una película de cera, la cual además, reduce la pérdida de peso y mejora la apariencia general de la fruta, sin embargo la información sobre los efectos fisiológicos del tratamiento es limitada.

La finalidad de la presente investigación fué estudiar los efectos del recubrimiento con cera sobre el metabolismo del banano, tratando de relacionar los cambios de apariencia de la fruta con las transformaciones químicas más importantes, llevadas a cabo durante el proceso de maduración.

Para lograr los objetivos, el trabajo se dividió en dos partes:

1. Estudio de varias concentraciones de cera, espesor del encerado y métodos de aplicación, para determinar las condiciones bajo las cuales se hacen más lentos los cambios de apariencia externa.
2. Evaluación de la rata de respiración, producción de etileno y transformación de carbohidratos de la fruta encerada con el mejor tratamiento obtenido en la primera parte.

La presente investigación tuvo una duración de dos años y fué realizada

en el Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias Tibaitatá y en los laboratorios del Departamento de Química de la Universidad Nacional.

II. REVISION BIBLIOGRAFICA

II. REVISION BIBLIOGRAFICA

A. MADURACION

Una de las etapas en el desarrollo de la fruta es la maduración y durante ella ocurren una serie de procesos químicos que le dan su calidad y aceptabilidad para consumo. Algunas frutas presentan dentro de la maduración un fenómeno característico denominado climaterio, el cual consiste en un aumento pronunciado de la intensidad respiratoria.

Durante este período se producen todos los cambios asociados con la maduración. Anterior al desarrollo del climaterio se presenta el período preclimatérico caracterizado por una tasa de respiración baja. Después del climaterio, la respiración desciende un poco y permanece aproximadamente constante hasta la senectud de la fruta, este período se denomina postclimaterio (2, 8, 36). Las frutas que muestran un climaterio definido se llaman climatéricas y entre ellas se encuentran: el aguacate, el banano, la chirimoya, la manzana, el melón, la papaya, el zapote y algunas otras; los frutos climatéricos tienen generalmente una pulpa abundante o carnososa, producen cantidades apreciables de etileno y deben cortarse del árbol para que maduren normalmente (8, 32). Burg y Burg (15) y Hansen (30), explican la causa por la cual las frutas climatéricas maduran después de cosechadas, diciendo que el material alimenticio transporta alguna sustancia que hace permanecer la fruta en estado preclimatérico. Cuando se separa la fruta del árbol se elimina el suministro de esa sustancia y se hace posible la maduración.

B. CAMBIOS EN LA MADURACION DEL BANANO

Varios investigadores han estudiado las transformaciones que ocurren durante la maduración del banano, en cuanto a su composición química y actividad metabólica. Los cambios más importantes son los siguientes:

1. Actividad respiratoria: en el transcurso de la maduración se produce un incremento en la respiración, representado por una elevación en la rata de consumo de oxígeno y una mayor producción de anhídrido carbónico (46).
2. Compuestos volátiles: el etileno, volátil activo más importante intensifica su producción autocatalíticamente, actuando como una hormona de maduración (14, 15, 42). Se desarrollan ésteres, aldehídos, cetonas y alcoholes de bajo peso molecular que comunican sabor y aroma al fruto (30).
3. Carbohidratos: el banano verde contiene aproximadamente 20 % de almidón y 1-2 % de azúcares, con la maduración el almidón desciende a 1-2 %, mientras que los azúcares aumentan en un 15 a 20 % (25, 41, 45).
4. Color: se produce un cambio gradual, de verde a amarillo en la cáscara del banano. La clorofila, pigmento original, decrece a medida que avanza el proceso; los carotenos y las xantofilas permanecen constantes en concentración, pero con la desaparición de la clorofila, la piel del fruto se torna de color amarillo (50).
5. Actividad enzimática: existe un gran número de enzimas que intervienen en los diferentes procesos del metabolismo. Su actividad aumenta considerablemente con la maduración (50).

6. Constituyentes de la pared celular: la protopectina insoluble se transforma en pectina soluble, obteniéndose una disminución en la firmeza de la pulpa (20). Otros constituyentes de la pared celular son: lignina, celulosa y hemicelulosa; las dos primeras permanecen constantes, mientras que la hemicelulosa disminuye con la maduración por hidrólisis.(50).
7. Contenido de agua: durante la maduración se produce un cambio diferencial en presión osmótica debido a que el azúcar se incrementa más rápidamente en la pulpa que en la piel, originándose un movimiento de agua de la piel a la pulpa, dando como resultado un aumento en la hidratación de las membranas celulares (4). Otra fuente de agua es el producto de la oxidación de carbohidratos durante la respiración. El agua se pierde por transpiración, causando una disminución de peso en la fruta. El contenido total de agua en banano maduro es aproximadamente 75 % (46).
8. Acidez: durante el período preclimaterico la acidez es baja y aumenta hasta un máximo en el climaterio, para luego descender levemente (46). Los principales ácidos encontrados en el banano son: málico, oxálico, cítrico y tartárico (53).
9. Vitaminas: el contenido de vitaminas en la pulpa del banano es bajo; está constituido principalmente por ácido ascórbico que aumenta con la maduración hasta una concentración aproximada de 0.1 mgr/gr de fruta fresca. También se encuentran vitamina A, niacina, riboflavina, tiamina y otras en pequeñas concentraciones (46,50).
10. Taninos: son compuestos aromáticos formados generalmente por

grupos fenólicos que están presentes en la pulpa de la fruta verde. Son causantes del sabor astringente y desaparecen con la maduración (10, 27, 50).

Una vez iniciado el climaterio se aceleran todos los procesos metabólicos, dando como resultado una rápida maduración de la fruta. Por esta razón se han desarrollado varios métodos tendientes a prolongar la vida de almacenaje del banano.

C. METODOS PARA PRESERVAR LA VIDA POSTCOSECHA DEL BANANO

1. Refrigeración

La temperatura de almacenaje del banano, es un factor externo que incide sobre la actividad metabólica influyendo en la velocidad de las reacciones. Biale (7), dice que los límites de temperatura para almacenamiento de banano se encuentran entre 12.5-30°C, dentro de estos límites de temperaturas no se afecta adversamente la fisiología de la fruta. Por encima de 30°C la respiración decae rápidamente, la pulpa se vuelve aguada y la fruta se caracteriza como "en ebullición." Temperaturas inferiores a 12.5°C producen disminución en la rata de respiración, hidrólisis incipiente del almidón, ennegrecimiento de la piel por oxidación de taninos y cambios anormales en el color y sabor de la fruta. Estos efectos se conocen con el nombre de "daño por frío" (22, 46).

Ben-Yehoshua (6), estudió el comportamiento del banano a varias temperaturas y encontró que puede retardarse el deterioro funcional de dos a

tres semanas a 12°C, en relación con fruta almacenada a 20°C. La conservación del banano por medio de temperatura es efectiva pero costosa, por cuanto requiere la utilización de cámaras refrigeradas de gran capacidad y adecuados sistemas de ventilación.

2. Irradiaciones

Se ha intentado preservar el banano aplicando irradiaciones X, Gama y otras radiaciones ionizantes. Ulrich (48), al aplicar rayos X en banano retardó la maduración, pero observó que causaban daños en la piel. Amézquita (1), encontró que dosis de 35 krad de irradiaciones Gama prolongaron la vida útil del banano de una a dos semanas, demorando la iniciación del climaterio y evitando el rápido ennegrecimiento de la fruta ya madura. Se cree que las irradiaciones actúan disminuyendo la sensibilidad del tejido al estímulo del etileno, por un mecanismo que aún no ha sido aclarado. El método es efectivo pero requiere un equipo bastante especializado y es difícil de aplicar comercialmente en nuestro medio.

3. Atmósferas controladas

Porritt (42), se basó en los resultados de otros investigadores para establecer el principio del "gas de almacenaje" o atmósfera controlada que consiste en rebajar el contenido de oxígeno que rodea la fruta y elevar el de anhídrido carbónico. Una concentración de oxígeno baja inhibe la producción de etileno, el cual ha sido postulado como la hormona de maduración. Este principio ha sido el punto de partida de numerosos

estudios tendientes a establecer métodos adecuados para prolongar la vida postcosecha del banano, los más importantes son:

1. Cámaras especiales: Young et al. (54), realizaron varios tratamientos almacenando banano con diferentes concentraciones de oxígeno y anhídrido carbónico y encontraron que una atmósfera de 10 % de O₂ y 5 % de CO₂ ofrece los mejores resultados, prolongando 33 días la iniciación del climaterio en la fruta. Este método requiere locales especialmente acondicionados lo cual hace muy costosa la conservación.
2. Bolsas de polietileno: Simmonds (46), registró un retardo de 4 a 10 días en la maduración de banano envuelto en bolsas de polietileno no perforadas. Ben-Yehoshua (6), utilizó bolsas de polietileno perforadas y no perforadas y observó que prolongan la vida del fruto y reducen la pérdida de peso, sin embargo estas ventajas fueron anuladas por el alto índice de pudrición producida por la humedad excesiva dentro de la bolsa.
3. Ceras o películas plásticas: en los últimos años se ha intensificado el uso de películas plásticas como método para retardar la maduración del banano. Blake (9), empleó una emulsión de cera parafinada en concentraciones desde dos hasta diez por ciento y obtuvo reducción en la pérdida de peso, incremento en el tiempo para alcanzar el pico climatérico y prolongación del período de maduración de una semana. Ben-Yehoshua (6), estudió el efecto de una emulsión acuosa de polietileno llamada comercialmente cera TAG y observó que aplicando tres capas de esta cera se reduce la pérdida de peso y se incrementa entre 5 y 15 días la

vida postcosecha de la fruta.

Los métodos descritos en esta sección logran prolongar la vida de almacenaje del banano basados en una extensión del período preclimatérico. Como se dijo anteriormente, el climaterio consiste en una elevación de la rata de respiración que trae consigo el desarrollo de todos los procesos metabólicos y el etileno juega un papel fundamental en la iniciación de esta respiración climatérica. Por consiguiente es necesario revisar detalladamente las teorías recientes, relacionadas con respiración y acción del etileno, para comprender en qué forma se afectan los mecanismos de los procesos de maduración, cuando se utilizan métodos para preservar frutas climatéricas.

D. RESPIRACION

Biale (7) y Von Loesecke (50), han definido el curso que sigue la respiración del banano e indican que ésta continúa después de la cosecha inicialmente a niveles muy bajos, posteriormente se presenta una elevación marcada de la rata respiratoria hasta un máximo denominado climaterio, esta etapa es seguida por una disminución en la respiración en el período postclimatérico.

Simmonds (46) y Urlich (48), consideran que la fase inicial de la respiración en el banano se lleva a cabo por la vía de la pentosa fosfato en el período preclimatérico, mientras que durante el climaterio y más aún en el postclimaterio predomina la glicólisis.

1. Factores que afectan la respiración

Berger (5), estudió el efecto de la concentración de ATP en la respiración. Tanto el ADP como el H_3PO_4 son necesarios en la glicólisis y en la fosforilación oxidativa. El fosfato inorgánico siempre se encuentra en exceso dentro de la célula, por tanto el factor limitante es el ADP. En estas condiciones la utilización de ATP, se ve condicionada por la cantidad de ADP (aceptor). La insuficiencia de oxígeno en la célula, detiene la fosforilación oxidativa y todo el ADP formado por degradación de ATP, es utilizado exclusivamente por el sistema de reacciones que proceden anaeróbicamente, ésto ocasiona una lentitud en la rata normal de respiración. Al suministrar oxígeno a la célula se restaura la fosforilación oxidativa y se normalizan los procesos respiratorios por vía aeróbica.

Urlich (48), en su revisión general de la bioquímica postcosecha de frutas, analiza la influencia de ADP como acepto del fosfato inorgánico procedente de los procesos de síntesis en los que interviene el ATP. Concluye que en el climaterio de las frutas y en los procesos de síntesis, se producen profundos cambios cuando no hay acoplamiento entre la respiración y la fosforilación oxidativa.

Young et al. (54), estudiaron el efecto de varias concentraciones de oxígeno y anhídrido carbónico en la maduración del banano. Encontraron que una atmósfera de baja concentración de oxígeno, retarda la

maduración y disminuye la capacidad de consumo de oxígeno en el preclimaterio, porque se limita la cantidad de este elemento como aceptor de electrones. Resultados de otros experimentos efectuados con proteínas, dieron base para afirmar que bajas concentraciones de oxígeno causan un decrecimiento en la cantidad de ATP utilizable en procesos de síntesis, ocasionando una demora en la inducción del climaterio. Por otra parte, sugirieron que un exceso de anhídrido carbónico en la atmósfera que rodea la fruta inhibe la respiración, posiblemente porque afecta la producción de una proteína específica asociada al sistema enzimático.

Los estudios de Quazi y Freebairn (44) en banano, revelan que concentraciones muy bajas de oxígeno reducen la tasa de respiración necesaria para madurar la fruta. Encontraron que la supresión del climaterio respiratorio está asociada con una disminución en la tasa de producción de etileno, que actúa como estimulante de la maduración.

La temperatura constituye otro factor limitante en la respiración. Bonner y Galston (10) y Maximov (37), dicen que a temperaturas cercanas a 0°C la actividad respiratoria es muy lenta, porque se inactivan los procesos enzimáticos. La respiración aumenta gradualmente al elevarse la temperatura, alcanzando máximos entre 30 y 40°C. Por encima de estos valores decrece la actividad respiratoria porque se destruye la parte proteínica de las enzimas.

2. Métodos para determinar la actividad respiratoria en banano

El estudio de la intensidad respiratoria se realiza mediante la deter-

minación cuantitativa de los cambios que sufre la atmósfera que rodea la fruta, es decir se tiene en cuenta el aumento de anhídrido carbónico o la disminución de oxígeno.

1. Determinación de anhídrido carbónico: todos los métodos utilizados introducen corrientes continuas de gases a través de recipientes que contienen la fruta y del efluente de gases se toman muestras para el análisis. Biale et al. (8), recogen el CO_2 sobre un álcali y lo evalúan posteriormente por un método volumétrico. Brady et al. (12), Burg y Burg (16) y Peacock (40), analizan CO_2 haciendo pasar los gases a través de una celda de muestreo, acondicionada a un analizador de gas infrarrojo. Quazi y Freebairn (44), midieron la cantidad de CO_2 producido, pasando muestras del gas a un cromatógrafo de gases equipado con columnas de sílica gel y un detector de conductividad térmica.
2. Determinación de oxígeno: se utilizan comúnmente analizadores de oxígeno para determinar la rata de respiración. (12, 44, 54), evaluaron el oxígeno consumido por banano introduciendo corrientes gaseosas dentro de recipientes que contenían la muestra, el efluente se pasó a través de un analizador de oxígeno.

E. ETILENO

1. Carácter hormonal del etileno

El etileno es el compuesto volátil más importante producido por las frutas, posee una actividad biológica especial, relacionada con la

estimulación de todos los procesos metabólicos de la maduración (7, 13, 42, 43).

Con el desarrollo de la técnica analítica de la cromatografía de gases sensible a concentraciones muy bajas, se encontró que pequeñas cantidades de etileno se acumulan intercelularmente hasta un nivel estimulatorio comprendido entre 0.1 y 1.0 ppm inmediatamente antes del climaterio respiratorio (14, 15, 16). De esta forma se pudo establecer que el etileno es una hormona natural producida por la fruta, que actúa sobre la maduración y no es un producto de ella.

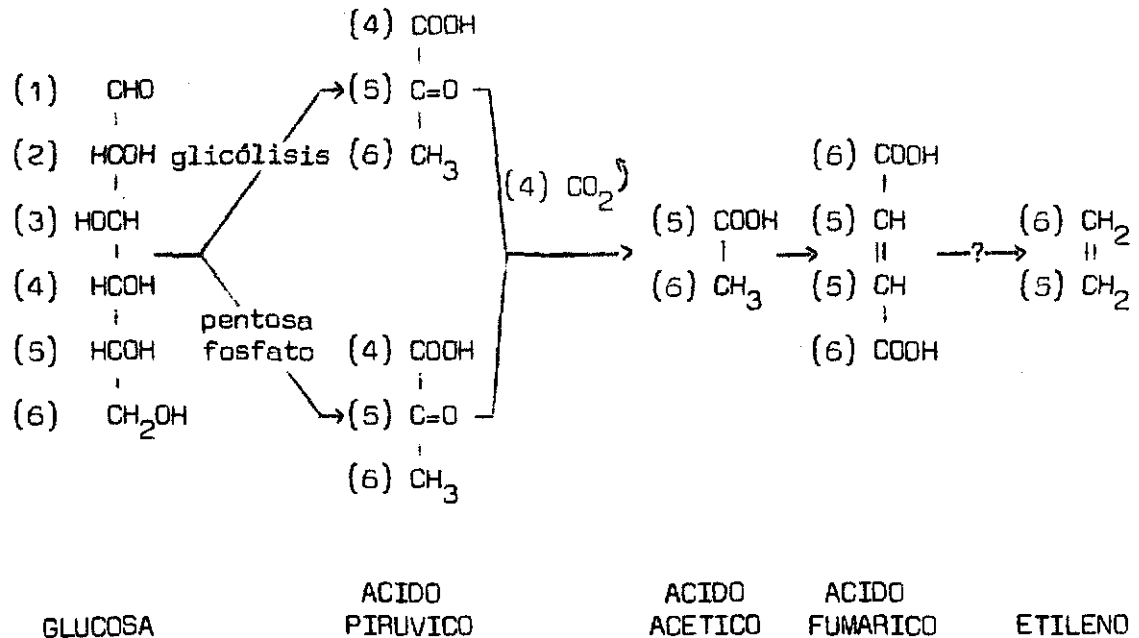
Burg y Burg (15), comprobaron el carácter hormonal del etileno en bananas. Midiéron concentraciones estimulatorias de 0.1 ppm en el período preclimaterico de la fruta. Posteriormente, evacuaron completamente el etileno interno y observaron que se inhibió la maduración. Trazas de etileno aplicadas nuevamente, maduraron la fruta inmediatamente.

El mecanismo por el cual se lleva a cabo la biosíntesis del etileno no ha sido aclarado, sin embargo se han postulado algunas teorías relacionadas con el origen de este compuesto en tejidos vegetales.

2. Teorías de formación del etileno

Burg y Burg (15), tomaron la glucosa como punto de partida marcando sus átomos de carbono con C^{14} y encontraron que rebanadas de manzana y cultivos de hongo Penicillium digitatum utilizaron preferencialmente los carbonos cinco y seis de la glucosa para la síntesis del etileno. El mecanismo general propuesto consiste en una conversión inicial de la

glucosa a ácido pirúvico por la vía de la pentosa fosfato o por la vía glicolítica; el ácido pirúvico por descarboxilación forma ácido acético el cual debe entrar al ciclo de Krebs hasta la formación del ácido fumárico y este ácido por un mecanismo desconocido se convierte finalmente en etileno. La secuencia general se esquematiza de la siguiente forma:



Baur y Yang (3), estudiaron el propanal como una posible fuente de etileno. El propanal es uno de los mayores productos de la degradación del ácido linoleico peroxidado. En experimentos realizados in vitro, encontraron que los carbonos dos y tres del propanal se convierten en etileno y el carbono uno pasa a ácido fórmico y posteriormente a anhídrido

carbónico; estos resultados sin embargo no se han podido confirmar en tejidos vegetales.

3. Mecanismo de acción del etileno

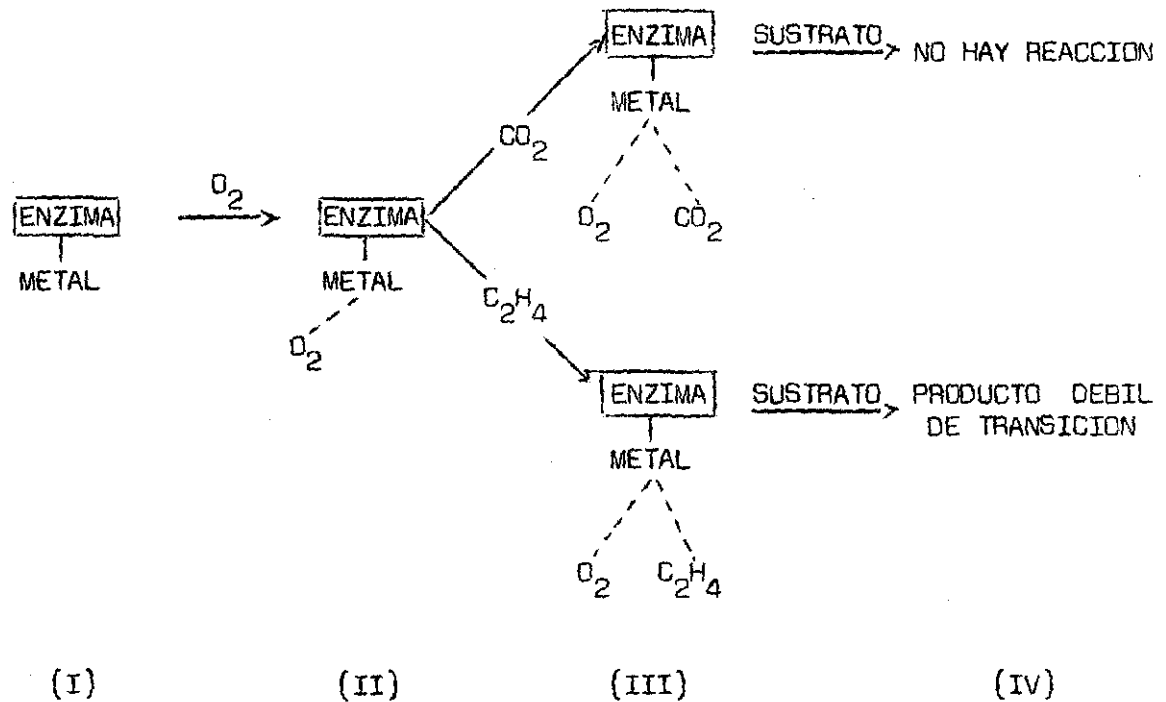
El sistema de reacciones mediante las cuales el etileno ejerce su actividad biológica en tejidos vegetales, aún no está totalmente aclarado. Hasta el momento se conocen algunas opiniones sin mayores fundamentos, a excepción de las de Burg y Burg (15, 17), quienes exponen tentativamente una teoría basados en varias consideraciones:

1. Tuvieron en cuenta que la habilidad para formar complejos metálicos, es propiedad de los compuestos alifáticos insaturados, propiedad que no la poseen otros alifáticos ni la mayoría de los aromáticos. La efectividad del enlace está influenciada por la existencia de electrones en los orbitales π del compuesto insaturado y por la facilidad de superposición de estos orbitales con los del metal.
2. Tomaron varios compuestos biológicamente activos (etileno, propileno, 1-buteno, anhídrido carbónico y otros) y midieron los valores de la constante de estabilidad de sus complejos con la plata (Ag), encontrando una gran correlación entre los valores de las constantes y los de la actividad biológica.
3. Observaron que el monóxido de carbono (CO) y el etileno se unen en forma similar a enzimas metálicas y que esta unión se realiza con mayor facilidad cuando está presente el oxígeno.
4. Hallaron que el anhídrido carbónico actúa como un inhibidor.

competitivo del etileno en la citocromo oxidasa, formando complejos metálicos.

5. Finalmente, descubrieron que el etileno y el oxígeno trabajan asociados simultáneamente a una misma enzima que contiene un grupo metálico cuya naturaleza no se conoce aún.

Estas observaciones indican que el etileno debe unirse a receptores metálicos de enzimas contenidas en los tejidos vegetales y dieron base a Burg y Burg para postular el siguiente esquema que explica la acción del etileno.



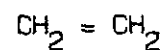
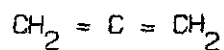
A partir del paso (III), la enzima activada por el etileno pasa a reaccionar con el sustrato adecuado, para dar un producto de transición

débil. La naturaleza del sustrato y de éste último compuesto es desconocida, pero se cree sean la vía correcta de la activación. La enzima inhibida por el anhídrido carbónico no presenta ninguna reacción posterior.

4. Relación entre la respiración y la producción de etileno

Varios estudios (15, 42, 44) revelan que la producción de etileno y por consiguiente su actividad biológica se ven reducidas por efecto de altas concentraciones de anhídrido carbónico y bajas de oxígeno.

Burg y Burg (15, 17), explican la interacción del oxígeno y del anhídrido carbónico con el etileno. Como se pudo apreciar en el esquema del mecanismo de acción del etileno, el CO_2 compite con el C_2H_4 en la ocupación del sitio receptor del metal en la enzima (III). Esto se explica por la forma de la molécula del anhídrido carbónico, muy similar a la molécula del aleno.



ANHIDRIDO
CARBONICO

ALENO

ETILENO

El aleno sustituye eventualmente al etileno en sus funciones, por tanto la semejanza en la forma de las moléculas hace que el CO_2 compita efectivamente por el sitio que debiera ocupar el etileno. En el mismo esquema se observa, que antes de unirse el etileno al metal (I), éste por

acción del oxígeno molecular ya ha sido oxidado y en esta forma oxidada (II), el etileno entra a funcionar como un activador (III).

Quazi y Freebairn (44), analizaron detalladamente la influencia del oxígeno y del anhídrido carbónico en la producción de etileno por el banano y llegaron a la conclusión de que los tres gases interactúan entre sí para originar un efecto complejo. A concentraciones entre 1 y 3 % de oxígeno, el banano demora la producción de etileno y por consiguiente la iniciación del climaterio; a concentraciones entre 5 y 10 % de anhídrido carbónico, se produce el mismo resultado.

Es así como se puede explicar que una deficiencia de oxígeno influya directamente en la velocidad de la maduración, porque se inhibe la unión del etileno al sitio receptor de la enzima, reduciéndose la capacidad activadora del gas y al no producirse activación se retarda el proceso madurativo.

5. Métodos para determinar la producción de etileno en banano

Amézquita (1) y Quazi y Freebairn (44), determinaron la rata de producción de etileno en banano, tomando muestras de un flujo de gas proveniente del recipiente que contiene la fruta. Las muestras se inyectaron a un cromatógrafo de gases, con detector de ionización por llama y columnas de alúmina activada.

Burg y Burg (14), introdujeron la fruta en cámaras selladas por espacio de cuatro horas, al cabo de las cuales midieron la cantidad de etileno producido tomando muestras a través de un tapón de caucho e

inyectándolas a un cromatógrafo de gases equipado con columnas de alú-
mina activada y detector de ionización por llama.

III. ASPECTOS BOTANICOS

III. ASPECTOS BOTANICOS

A. CLASIFICACION BOTANICA

La clasificación botánica del banano es la siguiente (26):

División	Espermatofitas
Subdivisión	Angiospermas
Clase	Monocotiledoneas
Orden	Escitaminales
Familia	Musáceas
Subfamilia	Musóideas
Género	Musa

El género *Musa* comprende treinta y dos o más distintas especies y por lo menos cien variedades o clones (50). El género se divide en dos grandes secciones:

<i>Physocaulis</i>	Fruta no comestible
<i>Eumusa</i>	Fruta comestible

La sección *Eumusa* comprende siete especies agrupadas en:

BANANOS	PLATANOS
<u><i>Musa acuminata</i></u> Colla	<u><i>Musa balbisiana</i></u> Colla
<u><i>Musa barjoo</i></u> Sieb	<u><i>Musa paradisiaca</i></u> L.
<u><i>Musa sapientum</i></u> L.	<u><i>Musa maoli</i></u> C.
<u><i>Musa cavendish</i></u> Lamb	

Las principales variedades de banano cultivadas para exportación son Gros Michel (Musa sapientum L.), Lacatán, Poyo, Enano y Gran Enano (Musa cavendish).

B. SELECCION DE LA VARIEDAD

El comercio mundial de banano hasta finales de la década del cincuenta, se efectuó en mayor porcentaje con Gros Michel. A partir de 1960, el banano cavendish se incrementó en el mercado internacional; los porcentajes para cada variedad, del total de exportaciones desde 1966 son los siguientes:

AÑO	CAVENDISH %	GROS MICHEL %
1966	60	40
1967	65	35
1968	75	25
1969	82	18
1970	89	11
1971	93	7
1972	95	5

El cultivo de banano para exportación se localiza exclusivamente en dos regiones del país: Santa Marta, con un total de 4.300 hectáreas correspondientes a la especie cavendish y Urabá, con 6.000 hectáreas de

cavendish y 6.000 hectáreas de Gros Michel.*

Para el presente trabajo se escogió la variedad Poyo de la especie cavendish teniendo en cuenta los siguientes factores:

1. La variedad Poyo constituye el 80 % del área cultivada en las dos grandes zonas productoras.
2. Es de gran productividad y rápido desarrollo.
3. Resiste el mal de Panamá causado por el Fusarium oxiosporium Cubense.
4. Es una planta de talla baja que soporta mejor los vientos fuertes.
5. Posee hojas cortas, lo cual permite sembrar un mayor número de plantas por unidad de superficie.
6. Es la variedad preferida por los distribuidores mayoritarios debido a su fácil manejo en las cámaras de maduración.

* Efraín Orozco, Programa de Plátano y Banano del ICA, 1973.
"Comunicación personal."

IV. MATERIALES Y METODOS

IV. MATERIALES Y METODOS

A. METODOS PARA EL ENCERADO DE BANANO

1. Material biológico

a. Cosecha, empaque y transporte

Se utilizaron bananos de la variedad Poyo, cosechados en la zona bananera de Santa Marta. Las manos se disgregaron del racimo e inmediatamente se lavaron con agua para eliminar las secreciones gomosas de las áreas de corte. Se seleccionaron las tres primeras manos de cada racimo porque constituyen un producto de óptima calidad para exportación.

Las manos se empaquetaron en cajas de cartón, de tipo exportación que tenían las siguientes dimensiones: largo 53.0 cm, ancho 40.0 cm y alto 24.5 cm (ver Figura 1). Estas cajas fueron utilizadas posteriormente para el almacenaje de los diversos tratamientos.

La fruta se transportó por vía aérea a Bogotá el mismo día de su recolección.

b. Muestreo

Las manos se clasificaron de acuerdo a su posición en el racimo en tres categorías: A, B y C correspondientes a las primeras, segundas y terceras respectivamente, numeradas a partir de la base del tallo floral.

Cada tratamiento se integró por tres manos de cada categoría con un número uniforme de dedos.

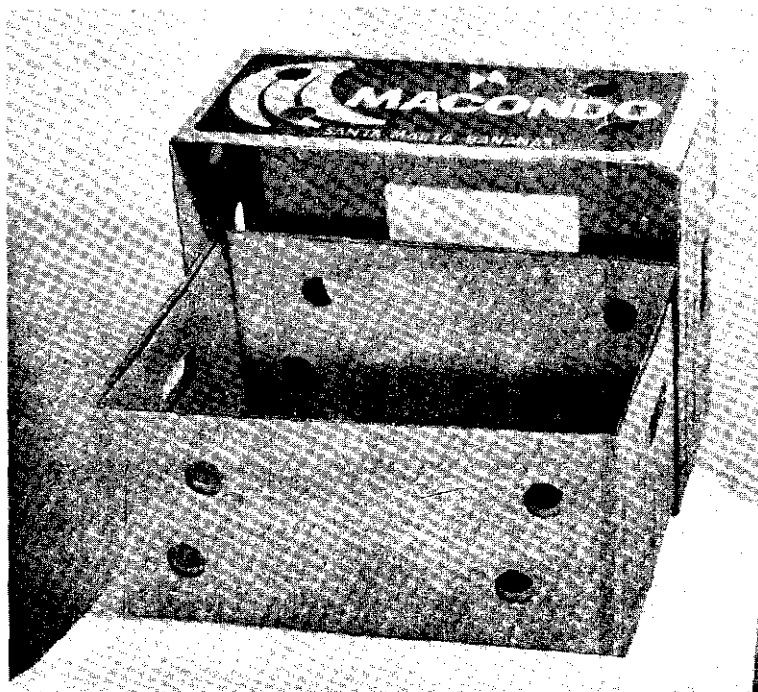


FIGURA 1: Empaque utilizado en el transporte y almacenamiento de banana. Tamaño en cm: 33.0 x 40.0 x 24.5 . Material: cartón.

c. Almacenamiento

Para el almacenamiento refrigerado se utilizó un cuarto con dimensiones interiores de 2.20 x 2.20 x 1.60 m y una capacidad de refrigeración de una tonelada. La humedad relativa dentro del cuarto se mantuvo con un humidificador marca Standard, modelo 42 L, controlado por un humidistato marca Sauter. La temperatura y la humedad relativa se registraron

diariamente dentro y fuera de la cámara, empleando un higrotermógrafo marca Bendix, modelo 594.

2. Cera TAG, composición y propiedades

a. Composición

La cera TAG es una emulsión acuosa de polietileno, disperso térmicamente en presencia de surfactantes comestibles. La base es oleato de morfina, amonio y trazas de hidróxido de potasio. Durante el proceso de secado la morfina y el amonio se evaporan de la superficie de la fruta tratada, formándose una película microscópica de plástico.

b. Propiedades físicas y químicas

Apariencia	Líquida transluciente
Color	Café claro
Olor	Suavemente amoniacal
Densidad	0.995 ± 0.02 gr/ml
Sólidos solubles	$14 \% \pm 5 \%$
pH	9.2 - 9.7
Viscosidad Brookfield	1.5 - 2.5 cps.
Tamaño de las partículas	0.10 - 0.15 micras
Flamabilidad	No es inflamable

c. Propiedades biológicas

La cera permite que la fruta respire normalmente, es decir aspirar oxígeno y exhalar anhídrido carbónico; conserva la humedad, imparte una apariencia atractiva y brillante, puede retardar la maduración pero no la interrumpe. No es tóxica y no comunica sabor al producto (34).

3. Índice de madurez

Se empleó la carta de colores de Von Loesecke (50), para registrar el índice de madurez. Esta carta presenta ocho grados de coloración como se puede observar en la Figura 2; del uno al seis comprende un desverdecimiento gradual de la fruta y los estados siete y ocho representan la

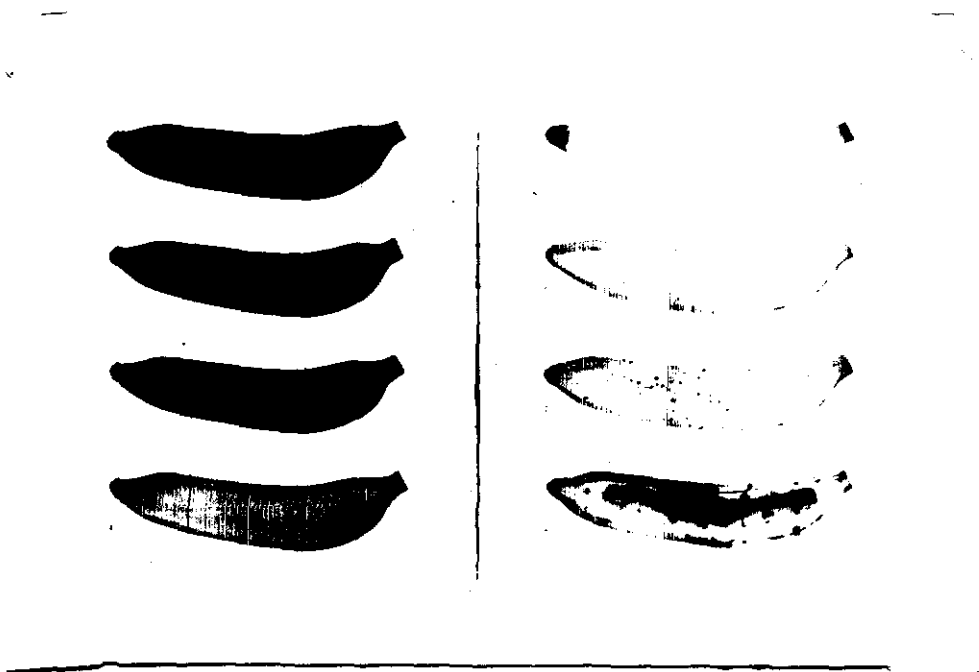


FIGURA 2: Escala de colores correspondiente a los estados de maduración del banano.

senectud y pudrición. En el grado seis el banano exhibe una coloración amarilla intensa, la cual se tomó como límite para las determinaciones de maduración

4. Experimento No. 1

Se investigó el efecto de concentración y método de aplicación de la cera durante el proceso de maduración. Igualmente se estudio la acción de una cubierta de polietileno de 0.0127 mm de espesor, con perforaciones de 12.5 mm de diámetro distanciadas aproximadamente 7 cm. Esta cubierta es utilizada actualmente en el embalaje de banano de exportación.

El diseño experimental que se llevó a cabo fué el siguiente:

T R A T A M I E N T O S

1. ASPERSION CERA 100 %
2. INMERSION CERA 100 %
3. ASPERSION CERA 50 %
4. INMERSION CERA 50 %
5. TESTIGO CON POLIETILENO
6. TESTIGO SIN POLIETILENO

La fruta se cosechó con 46/32 pulgadas de diámetro y el experimento se inició cinco días después de la recolección. Cada tratamiento estuvo constituido por tres manos con cinco dedos cada una y la efectividad de los tratamientos se evaluó en base al desarrollo de color (ver Apéndice A).

Para prevenir el desarrollo de infecciones en las áreas de corte, se utilizó Benlate como agente fungistático en una concentración de 1 gr/litro (31).

La cera del 50 % se preparó por dilución 1:1 en agua corriente.

Para la aspersión se empleó un atomizador de vidrio conectado a una bomba eléctrica, la cual proporcionaba un rocío constante y fino.

La inmersión se efectuó en recipientes plásticos de 10 litros; las manos se sumergieron totalmente durante 15 segundos.

Las manos enceradas se colgaron de un hilo metálico durante una hora a temperatura ambiente hasta obtener un secado completo. A continuación los tratamientos se empacaron en cajas de cartón y se almacenaron a una temperatura de 20°C y 90 % de humedad relativa.

5. Experimento No. 2

Se estudió la acción del número de capas de cera en el desarrollo de la maduración del banano, bajo dos condiciones diferentes de almacenamiento: 15°C, 90 % de humedad relativa y condiciones ambientales de 13°C, 77 % de humedad relativa en un sistema abierto.

En este experimento se compararon los siguientes tratamientos:

T R A T A M I E N T O S

1. UN ENCERADO

2. DOS ENCERADOS
3. TRES ENCERADOS
4. CUATRO ENCERADOS
5. TESTIGO

Los resultados se valoraron en base al grado de coloración y pérdida de peso de la fruta siguiendo el procedimiento indicado en el Apéndice A. Para las medidas de color, los tratamientos se integraron por tres manos con diez dedos cada una. Puesto que las manos normalmente están constituidas por más de diez dedos, se eliminaron unidades de los extremos hasta completar este número. De los bananos eliminados se tomaron dos por cada mano para calcular la pérdida de peso.

El experimento se inició tres días después de la cosecha utilizando banano de 44/32 pulgadas de diámetro y se desarrolló en el siguiente orden:

1. Aplicación de fungicida: se empleó Benlate en los sitios de corte en una concentración de 1 gr/litro.
2. Encerado: las manos se sumergieron totalmente en cera concentrada.
3. Secado: la fruta se dejó secar completamente antes de una nueva inmersión.
4. Empaque: cada tratamiento envuelto en polietileno se empacó en cajas de cartón.
5. Almacenamiento: se llevó a cabo en las condiciones anotadas anteriormente.

6. Experimento No. 3

El banano encerado se almacenó a 10°C con el objeto de observar si la cera proporciona protección al daño por enfriamiento que normalmente se produce a esta temperatura. La respuesta de la fruta a estas condiciones se evaluó por medidas de color.

Se desarrolló el siguiente plan experimental:

TRATAMIENTOS

1. UN ENCERADO
2. TESTIGO

Los tratamientos se formaron de tres manos con cinco dedos cada una, cosechadas con 44/32 pulgadas de diámetro. La cera fué aplicada tres días después de la cosecha, con el siguiente orden en el procedimiento:

1. Aplicación de fungicida: Benlate; 1 gr/litro.
2. Encerado: una sola inmersión en cera sin diluir.
3. Empaque: los tratamientos se envolvieron en polietileno y se guardaron en cajas de cartón.
4. Almacenamiento: se realizó a 10°C y 90 % de humedad relativa.

B. METODOS PARA VALUAR EL EFECTO DEL ENCERADO EN EL METABOLISMO DEL BANANO

Para investigar la acción de la cera sobre el metabolismo de la fruta, se estudió la evolución de oxígeno, etileno y los cambios de carbohi-

dratos, porque constituyen los parámetros fundamentales que regulan el proceso de maduración del banano. Así mismo, se realizó una prueba de catado con el fin de analizar el efecto del encerado en las propiedades organolépticas de la fruta.

1. Material biológico

Se utilizó banano de la variedad Poyo, cosechado en la zona bananera de Santa Marta con un diámetro de 44/32 de pulgada. De cada racimo se escogió la segunda mano numerada a partir de la base del tallo floral. Los dedos de cada mano fueron separados y seleccionados por calidad y tamaño uniforme.

El día de la recolección se realizó el siguiente tratamiento a los dedos:

1. Lavado.
2. Desinfección: aplicación de Benlate 1 gr/litro en la zona del pedúnculo.
3. Muestreo: distribución al azar en dos grupos; uno se empleó como testigo y el otro se utilizó para el encerado.
4. Encerado: una inmersión total en TAG concentrado durante 15 seg.
5. Secado: se colgaron de un hilo metálico a temperatura ambiente (29°C).
6. Empaque: se utilizaron cajas de cartón tipo exportación (véase página 25).

La fruta se transportó al día siguiente a Bogotá por vía aérea y se almacenó en el laboratorio donde se realizaron los análisis. Diariamente

se registró la temperatura y humedad relativa ambiental del cuarto, empleando un higrotermógrafo marca Bendix, modelo 594.

2. Selección de los métodos para el análisis de gases

La intensidad respiratoria se puede evaluar determinando la cantidad de oxígeno consumido o de anhídrido carbónico producido. En el presente estudio se escogió el análisis de oxígeno porque este elemento está asociado con la respiración aeróbica y ésta, a su vez, con la maduración del banano.

Las ratas de oxígeno consumido por banano se han determinado por medio de analizadores de oxígeno, empleando cámaras de respiración con adaptaciones especiales, para hacer circular flujos continuos de mezclas gaseosas de composición conocida y el efluente de gases lo hacen pasar a través del analizador (12, 44, 54).

Lyons et al. (33), determinaron la concentración de oxígeno interno en melones empleando un cromatógrafo de gases equipado con un detector de conductividad térmica y columnas de tamiz molecular.

Para el desarrollo de la presente investigación, fué necesario construir una cámara de respiración sellada, de características especiales para la medición de las ratas de oxígeno consumido por el banano, empleando en los análisis la misma columna adoptada por Lyons et al. (33), para la determinación de oxígeno interno en melones.

Se escogió la técnica cromatográfica de gases para determinar el oxígeno,

atendiendo a sus características de versatilidad, fácil manejo de las muestras, simplicidad en la separación de las mezclas y rapidez en el análisis.

Para analizar la rata de producción de etileno se escogió la técnica descrita por Burg y Burg (14), que consiste en introducir la fruta en una cámara sellada y determinar la cantidad de etileno producido mediante un cromatógrafo de gases equipado con columnas de alúmina activada y detector de ionización por llama. La estandarización de esta técnica, se llevó a cabo durante el desarrollo del presente trabajo, para aplicarse por primera vez en estudios de este tipo en el Departamento de Química.

La cromatografía de gases es una técnica analítica basada en la diferencia de velocidades de migración de los compuestos de una mezcla, al ser arrastrados por un gas inerte a través de una columna rellena de material adecuado. Los componentes emergen separadamente y se detectan a la salida de la columna por conductividad térmica, ionización por llama o captura de electrones, dependiendo de las características de la muestra analizada (47).

3. Cámara de respiración

Para analizar el consumo de oxígeno y la producción de etileno, se adaptó como cámara de respiración un recipiente de vidrio con una capacidad de 783 ml; sus dimensiones, diámetro 7.8 cm y altura 16.5 cm se ajustaron perfectamente a las de la fruta permitiendo introducirla fácilmente

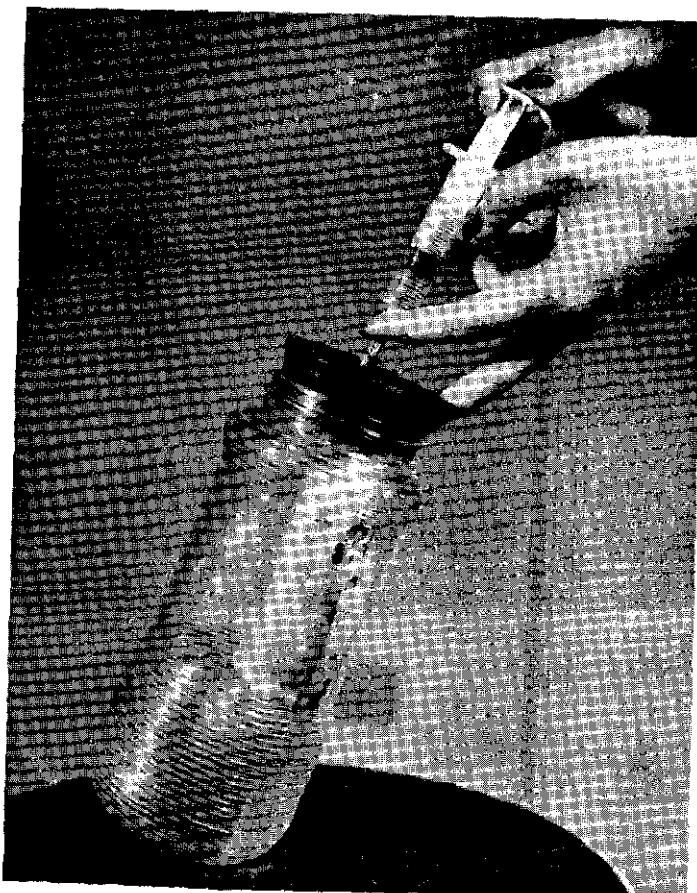


FIGURA 3: Cámara de respiración. Dimensiones: diámetro 7.8 cm, altura 16.5 cm, volumen 783 ml. Material: vidrio.

sin riesgo a maltratarla.

La cámara se cerró con un tapón horadado de caucho No. 12, dentro de la perforación se insertó un tubo de vidrio de 5.5 mm de diámetro. En el extremo superior del tubo se colocó un tapón de silicona, a través del cual se extrajeron las muestras del gas. Todo el sistema se selló herméticamente (ver Figura 3).

4. Determinación de la actividad respiratoria

El análisis se llevó a cabo en un cromatógrafo de gases marca Perkin-Elmer, modelo 810, equipado con un detector de conductividad térmica y columnas de tamiz molecular. Esta columna absorbe irreversiblemente el anhídrido carbónico y separa el oxígeno y el nitrógeno (51).

Para fijar las condiciones óptimas de trabajo se utilizó como patrón aire atmosférico:

Columna	Tamiz molecular
Tamaño del tamiz	80/100
Material	Acero inoxidable
Longitud	12 pies
Diámetro externo	1/8 pulgada
Temperatura de la columna	55°C
Temperatura del inyector	75°C
Temperatura del detector	150°C
Corriente del detector	185 ma.
Gas de arrastre	Helio
Flujo	26 ml/min.
Atenuación	X 16
Volumen de inyección	0.6 ml

Las muestras se tomaron con una jeringa desechable de 2 ml, provista de una aguja hipodérmica No. 26. El resultado del análisis preliminar se muestra en el Cromatograma 1.

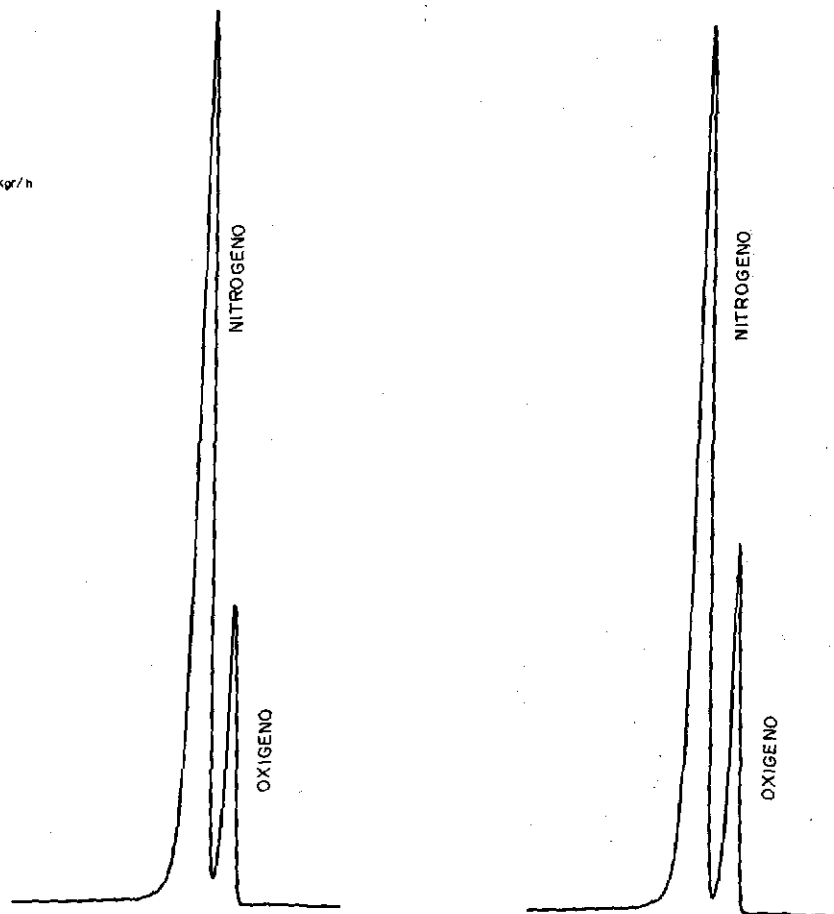
CROMATOGRAMA I

RATA DE CONSUMO DE OXIGENO EN BANANO

TIEMPO RESPIRACION: 180 min

TIEMPO RESPIRACION: 0 min

COLUMNA	TAMIZ MOLECULAR
T.COLUMNA	55° C
T. INYECTOR	75° C
T. DETECTOR	150° C
V. INYECCION	0.6 ml
ATENUACION	x 16
O ₂ CONSUMIDO	83.5 mgr / kg/h



La rata de respiración se midió introduciendo la fruta dentro de la cámara, calculando el porcentaje de oxígeno presente en el aire atmosférico en el instante de cerrarla y al cabo de tres horas, la diferencia entre estos valores dá la cantidad de oxígeno absorbido.

Experimentalmente se encontró que en un tiempo de tres horas se puede detectar una disminución en la concentración de oxígeno dentro de la cámara. Este período de tiempo no incide en el desarrollo climatérico del fruto, puesto que el nivel de oxígeno se rebaja solamente en un dos

por ciento. La presión total dentro de la cámara permanece prácticamente constante, porque en el intercambio gaseoso de la respiración la cantidad de oxígeno consumido es igual a la de anhídrido carbónico producido y el desprendimiento de los restantes volátiles es prácticamente despreciable.

Conociendo el porcentaje de oxígeno absorbido por unidad de tiempo, el peso de la fruta y el volumen de la cámara, puede aplicarse la ley de los gases perfectos y calcular la actividad respiratoria en función de los miligramos de oxígeno consumido por kilogramo de fruta fresca, por hora (véase Apéndice B).

5. Análisis de la producción de etileno

Para analizar la rata de producción de etileno, la fruta se colocó en la cámara por un período de tres horas. La extracción del gas se hizo con una jeringa desechable de 5 ml y una aguja hipodérmica No. 26. La muestra se inyectó en un cromatógrafo de gases marca Perkin-Elmer, modelo 880, equipado con columnas de alúmina activada y detector de ionización por llama. La columna empleada para este análisis se elaboró de acuerdo a las especificaciones anotadas en el Apéndice D.

Se encontraron las siguientes condiciones óptimas para el análisis cromatográfico:

Columna	Alúmina activada
Tamaño de la malla	60/80
Material	Acero inoxidable, cobrizado

Longitud	5 pies
Diámetro externo	1/8 pulgada
Temperatura de la columna	55 ^o C
Temperatura del inyector	40 ^o C
Temperatura del detector	180 ^o C
Gas de arrastre	Nitrógeno
Flujo	26 ml/min.

La rata de producción de gas se expresa en microlitros de etileno por kilogramo de fruta fresca, por hora. El diseño de los cálculos se muestra en el Apéndice C.

Para analizar cualitativamente el etileno producido por la fruta se utilizó un patrón de 99.9 %. En el Cromatograma 2 se aprecian los resultados y los siguientes son los tiempos de retención:

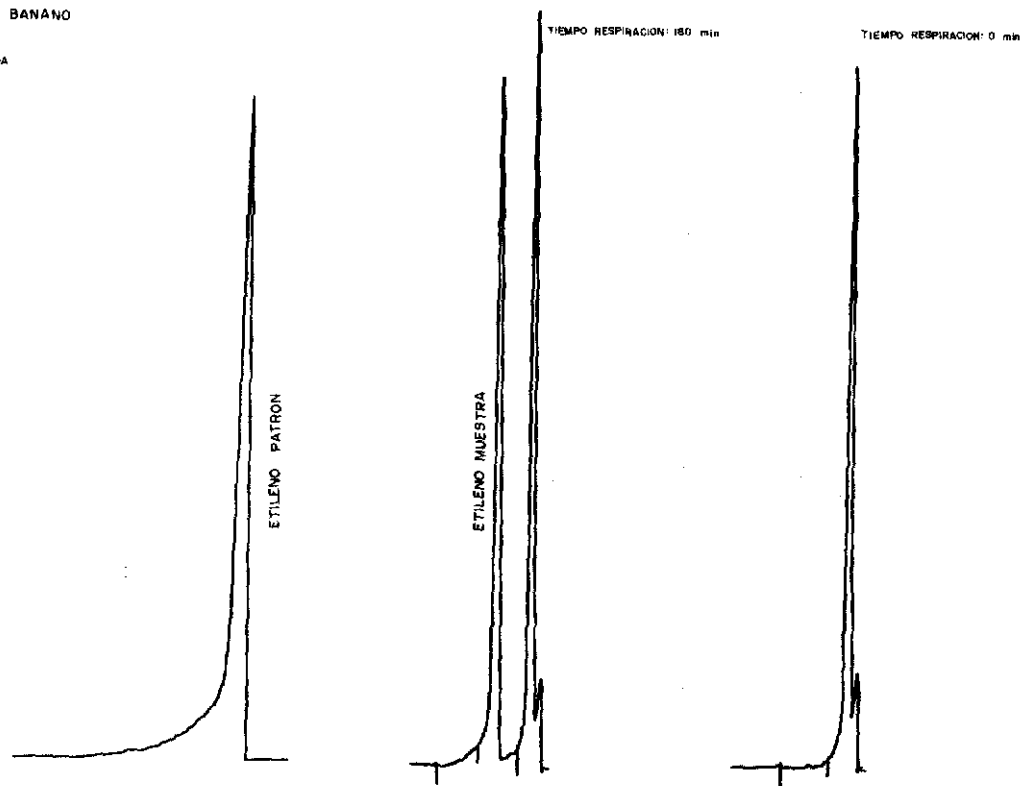
Etileno patrón	1 minuto
Etileno desprendido por el banano	1 minuto

La deflexión previa a la aparición del pico del etileno observada en el Cromatograma, es ocasionada por el volumen de muestra inyectada (5 ml). Este volumen produce un aumento en la presión del gas de arrastre que provoca a su vez una variación en el flujo del hidrógeno que alimenta la llama del detector. Como en el detector de ionización por llama la respuesta se dá en función de la diferencia de potencial establecida entre dos electrodos, siendo uno de ellos la llama misma, al alterar el flujo del hidrógeno se modifica el potencial de la llama, que origina un aumento en la corriente eléctrica y debido a la alta sensibilidad del

CROMATOGRAMA 2

RATA DE PRODUCCION DE ETILENO EN BANANO

COLUMNA	ALUMINA ACTIVADA
T COLUMNA	55° C
T INYECTOR	40° C
T DETECTOR	180° C
V INYECCION PATRON	1.4 ml
ATENUACION PATRON	200 K
V INYECCION MUESTRA	5.0 ml
ATENUACION MUESTRA	x 5
C ₂ H ₄ PRODUCIDO	7.5 µl / kg / h



análisis cromatográfico esta señal es registrada en el cromatograma.

Para extraer las muestras de etileno patrón, se acondicionó al cilindro un manómetro y una llave adicional como se observa en la Figura 4. La primera llave permite el paso del gas hacia el manómetro, la segunda regula el flujo y la tercera vacía el contenido. En el extremo de la llave tres se colocó un tubo de teflón y en su interior se insertó un tapón de silicona. El sistema se purga abriendo simultáneamente las tres llaves y retirando el émbolo de la jeringa para dejar libre la salida del gas.

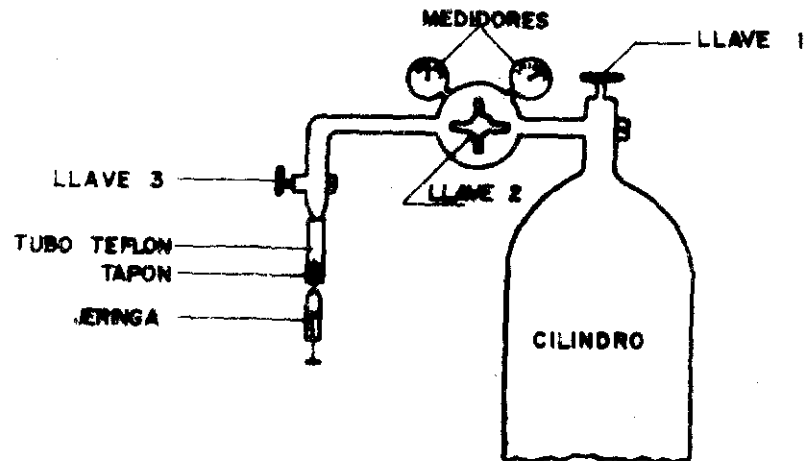


FIGURA 4: Sistema de extracción de muestras contenidas en un cilindro.

6. Procedimiento para analizar la evolución de gases

Se seleccionaron al azar cinco bananos encerados y cinco sin encerar, se utilizaron diez cámaras de respiración. Cada 24 horas se efectuó el análisis de oxígeno y etileno en forma simultánea y se registraron los cambios de color empleando la tabla de colores de Von Loesecke (ver página 27), al llegar la fruta a la senectud (color 8) finalizó el experimento.

Para eliminar los errores de difusión en la toma de muestras, se tuvo la precaución de extraer un volumen de gas mayor del que se debía inyectar al cromatógrafo. La aguja se colocó dentro de un tapón pequeño

de silicona y el émbolo se ajustó en el volumen deseado, inmediatamente antes de introducir la aguja en el inyector.

Diariamente los bananos se colocaron en las cámaras de respiración por un período de tres horas. Al cabo de este tiempo se efectuaron los análisis de oxígeno y etileno y la fruta se sacó del interior de las cámaras, las cuales fueron aireadas previamente antes de iniciar un nuevo análisis.

Con el objeto de registrar el curso que sigue la respiración y la producción de etileno a través de la maduración, fué necesario correr 1.521 cromatogramas para oxígeno y 1.287 para etileno.

7. Determinación de carbohidratos

a. Almidón

El almidón se determinó por el método polarimétrico de Lintner (véase Apéndice E).

b. Azúcares totales

Los azúcares se valoraron por el método volumétrico de Lane y Eynon (ver Apéndice F).

c. Procedimientos para analizar la evolución de carbohidratos

Se emplearon cinco muestras enceradas y cinco sin encerar, selecciona-

das en un estado de madurez uniforme de acuerdo al promedio de color que presentaron el día del análisis los bananos utilizados para el estudio de gases.

La fruta se cortó longitudinalmente, a una mitad se le determinó almidón y la otra se liofilizó con el fin de evaluar posteriormente los azúcares.

8. Análisis organoléptico

Se utilizó la prueba triangular, consistente en presentar al catador tres muestras A, B y C de las cuales dos son iguales y una diferente. Se emplearon bananos encerados cortados en trozos de tamaño regular y sin coteza, correspondientes a las muestras B y C. La muestra A correspondió al banano empleado como testigo. La fruta estaba en un punto óptimo de maduración (color 6) .

La prueba se llevó a cabo con un grupo de 15 catadores del Instituto Colombiano de Bienestar Familiar.

V. RESULTADOS Y DISCUSION

V. RESULTADOS Y DISCUSION

A. ACCION DEL ENCERADO EN LA MADURACION Y VIDA DE ALMACENAJE DEL BANANO

1. Efecto de los métodos de aplicación y concentración

La Tabla I muestra el efecto del método de aplicación y concentración de la cera en el índice de madurez, representado por el desarrollo de color. Con la cera pura en inmersión, el banano alcanza el grado seis de color en 33 días; con cera diluída al 50 % en inmersión y con cera pura y diluída aplicada por medio de aspersion, se obtiene el mismo grado de madurez en 30 días. Los bananos no tratados con cera, con y sin cobertura de polietileno llegan al mismo estado de maduración en 26 días.

El sistema de aspersion no es aconsejable debido a la disposición de los dedos en el contorno de la mano que obstaculiza la formación de una cubierta uniforme alrededor de cada unidad, lo cual impide la protección de la superficie total del fruto por parte de la cera. Este sistema sería recomendable para otro tipo de frutas, cuya presentación comercial sea individual y uniforme, propiedades que hacen posible un recubrimiento total.

La inmersión de la fruta dentro de la emulsión de cera, permite un revestimiento total incluyendo el área de corte de la mano, factor muy importante, porque esta superficie constituye un foco propicio para el desarrollo de infecciones y la cera forma una delgada película que

TABLA I
 EFECTO DEL METODO DE APLICACION Y CONCENTRACION DE LA CERA
 EN EL INDICE DE MADURACION DE MANOS DE BANANO
 ALMACENADAS A 20°C Y HR. DE 90 %

días después del tratamiento	INDICE DE COLOR					
	INMERSION		ASPERSION		TESTIGO	
	100 %	50 %	100 %	50 %	con polietileno	sin polietileno
0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
6	2.0	2.0	2.0	2.1	2.3	2.0
9	2.0	2.0	2.1	2.2	2.7	2.3
12	2.0	2.3	2.5	2.5	3.3	2.7
14	2.0	2.8	3.2	3.0	4.0	3.3
16	2.4	3.3	3.3	3.3	4.0	4.1
20	3.7	4.3	4.3	4.3	5.0	5.3
22	3.9	4.9	5.2	4.7	5.7	5.7
26	5.3	5.4	5.7	5.4	6.0	6.0
28	5.3	5.6	5.7	5.5		
30	5.7	6.0	6.0	6.0		
33	6.0					

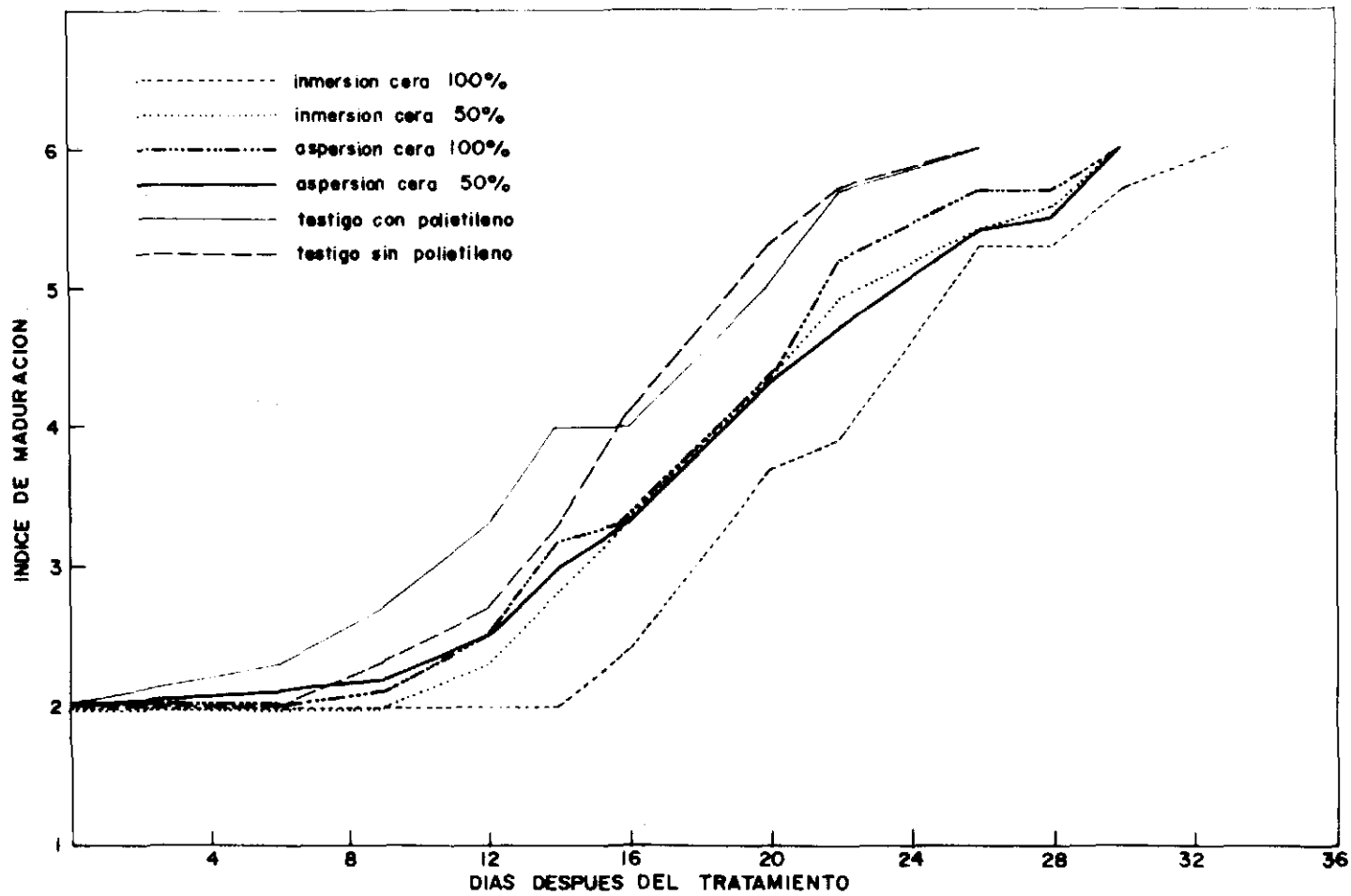


FIGURA 5.- efecto de diferentes tratamientos con cera en la maduración del banano.

proteje efectivamente impidiendo el crecimiento de hongos. Este procedimiento es económico porque no requiere un equipo técnico especializado y el método de aplicación se desarrolla en un tiempo breve.

En la Figura 5 se puede apreciar claramente una elevación previa de las curvas relacionadas con la aspersion, indicando que la maduración se inició primero en comparación con el sistema de inmersión, en consecuencia el período de tiempo necesario para obtener el estado óptimo comestible es menor. Sin embargo esta técnica de encerado arroja un resultado favorable respecto al producto no tratado. Los resultados demuestran que al rebajar el contenido de ingredientes activos de la cera a la mitad, la cubierta no ofrece una protección tan positiva.

Comparando el efecto de la cubierta de polietileno en los dos testigos (Figura 5), se observa que no existen diferencias entre ellos. La envoltura de polietileno no ejerce una acción retardadora sobre el proceso de maduración porque su espesor no es suficiente, el tamaño y distanciamiento de los agujeros permite que el intercambio de gases se realice libremente. La envoltura de polietileno se utiliza en el embalaje de banano en cajas de cartón, para proteger contra el polvo y suciedad que originan el desarrollo de mohos sobre la superficie de la fruta. En experimentos posteriores se puede hacer uso de la cera en combinación con esta envoltura puesto que carece de efecto en el proceso de maduración.

Respecto a los otros tratamientos (Figura 5), la inmersión en cera sin diluir, ofrece los mejores resultados porque se conserva más días en un

índice de madurez constante y demora siete días en relación con la fruta no tratada para lograr un desverdecimiento total.

El encerado en las diferentes formas de aplicación y concentración, incrementa la irregularidad en la maduración, este efecto podría corregirse con el tratamiento de etileno que las compañías bananeras hacen a la fruta después del desembarque para uniformizar la maduración.

2. Efecto del número de aplicaciones de cera

La Tabla II presenta los resultados del número de encerados en el índice de madurez del banano, almacenado a 15°C y 90 % de HR. La obtención del grado de color seis de los tratamientos respecto al testigo, se prolongó 6 días para uno, tres y cuatro encerados y 10 días para dos encerados.

La Tabla III muestra el efecto del número de encerados en el índice de madurez de banano almacenado a 18°C y 77 % de HR. La obtención del grado seis de color de los tratamientos respecto al testigo se retardó 15 días para uno y dos encerados, 11 días para tres encerados y 17 días para cuatro encerados.

Comparando los resultados de las Tablas II y III, se puede advertir un desarrollo en la maduración más acelerado en los tratamientos almacenados a 15°C , que a temperatura ambiente (18°C). Este efecto fué ocasionado posiblemente por una ventilación deficiente dentro de la cámara utilizada para el almacenamiento a 15°C , ya que el etileno producido por el banano se acumuló y aceleró el proceso de maduración.

TABLA II

ACCION DEL NUMERO DE RECUBRIMIENTOS EN LA RATA DE MADURACION
DE MANOS DE BANANO ALMACENADAS A 15°C Y HR. DEL 90 %,
APLICANDO CERA SIN DILUIR POR INMERSION

días después del tratamiento	INDICE DE COLOR				
	ENCERADOS				
	UNO	DOS	TRES	CUATRO	TESTIGO
0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
10	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
17	2.0	2.1	2.0	2.0	2.0
25	2.3	2.7	2.7	3.1	3.3
35	2.8	3.5	3.2	4.0	4.8
41	5.3	4.6	4.7	5.0	5.5
46	5.3	5.2	5.3	5.7	6.0
52	6.0	5.7	6.0	6.0	
56		6.0			

TABLA III

ACCION DEL NUMERO DE RECUBRIMIENTOS EN LA RATA DE MADURACION DE MANOS DE BANANO ALMACENADAS A CONDICIONES AMBIENTALES, 18°C Y 77% DE HR., APLICANDO CERA SIN DILUIR POR INMERSION

días después del tratamiento	INDICE DE COLOR				
	ENCERADOS				
	UNO	DOS	TRES	CUATRO	TESTIGO
0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
10	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
17	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
25	2.0	2.0	2.1	2.0	3.2
35	2.2	3.3	2.4	2.5	4.7
41	3.3	3.8	4.1	3.6	6.0
46	4.7	4.7	5.0	4.5	
52	5.3	5.7	6.0	5.1	
56	6.0	6.0		5.8	
58				6.0	

En las Figuras 6 y 7 se representa el efecto del número de encerados en la maduración del banano. Asumiendo el día 35 como un punto de referencia, se puede observar en la Figura 6 que un encerado presenta el menor índice de madurez 2.8, respecto a los demás tratamientos y su diferencia con el testigo para este día es de 2.0 grados de color; en la Figura 7 un encerado presenta igualmente el menor índice de madurez 2.2 y su diferencia con el testigo es de 2.5 grados.

Tres y cuatro encerados forman una película muy gruesa que no se adhiere con firmeza a la piel del fruto y cualquier rozamiento provoca la pérdida de la cubierta.

El número de encerados no guarda una relación directa con la tasa de maduración (ver Figuras 6 y 7). Las diferencias para alcanzar el grado seis de color entre uno, dos, tres y cuatro encerados no son muy apreciables y teniendo en cuenta el aspecto económico, sería más recomendable el empleo de una sola capa de cera.

3. Resultado del recubrimiento con cera en la pérdida de peso

La Tabla IV registra el efecto del número de encerados en la pérdida de peso de banano almacenado a 15°C y 90 % de HR. El día 41 el testigo alcanzó el grado de color seis y perdió 9.7 % del peso original, mientras que con dos encerados se presentó la menor pérdida de peso, 6.9 %.

En la Tabla V se encuentran los resultados de la pérdida de peso según el número de encerados de banano almacenados a 18°C y 77 % de HR.

Cuando el testigo alcanzó el color seis (día 41), perdió 18.1 % del

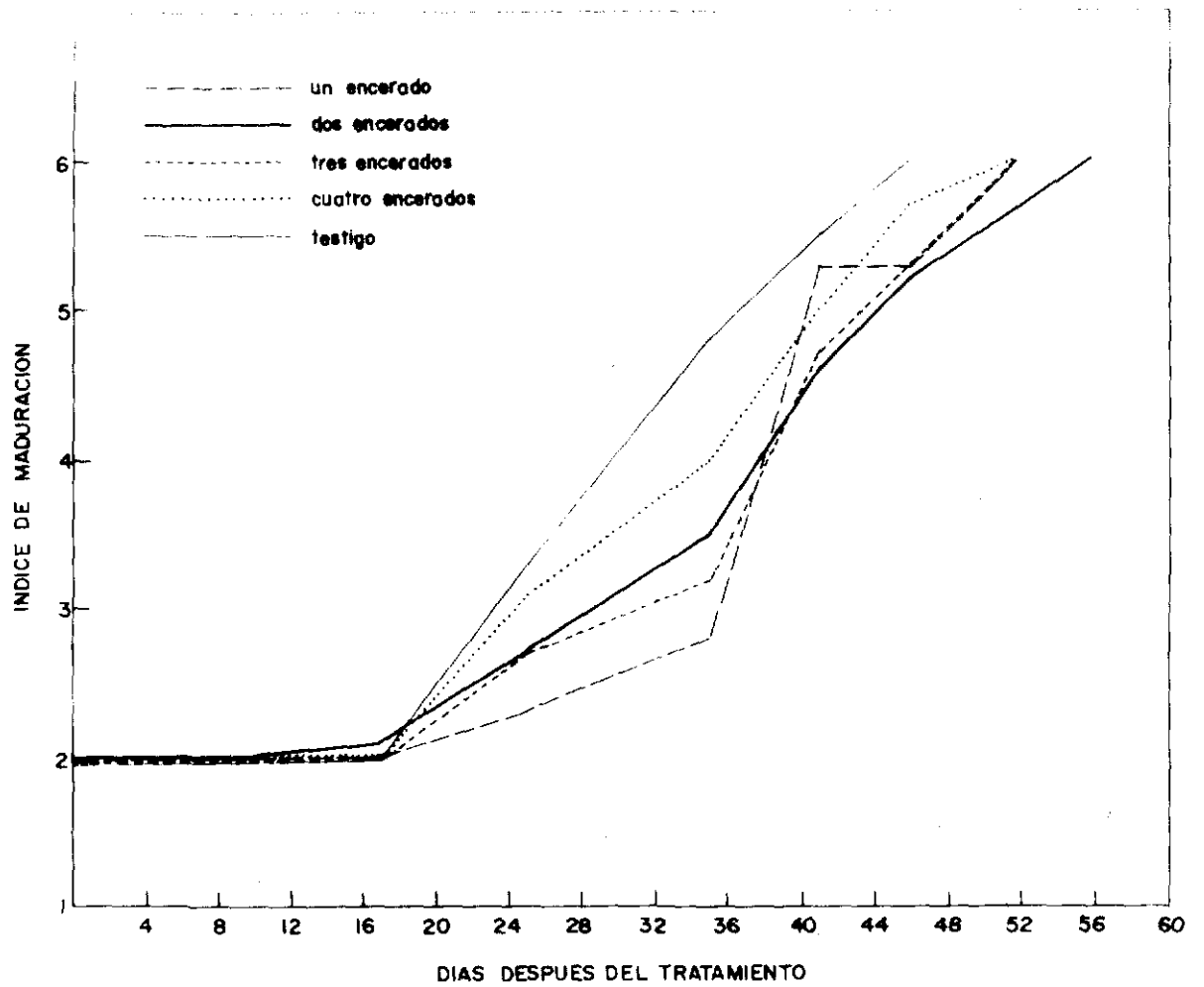


FIGURA 6.- efecto del numero de encerados en la maduracion de
 banano almacenado a 15° C y 90% HR.

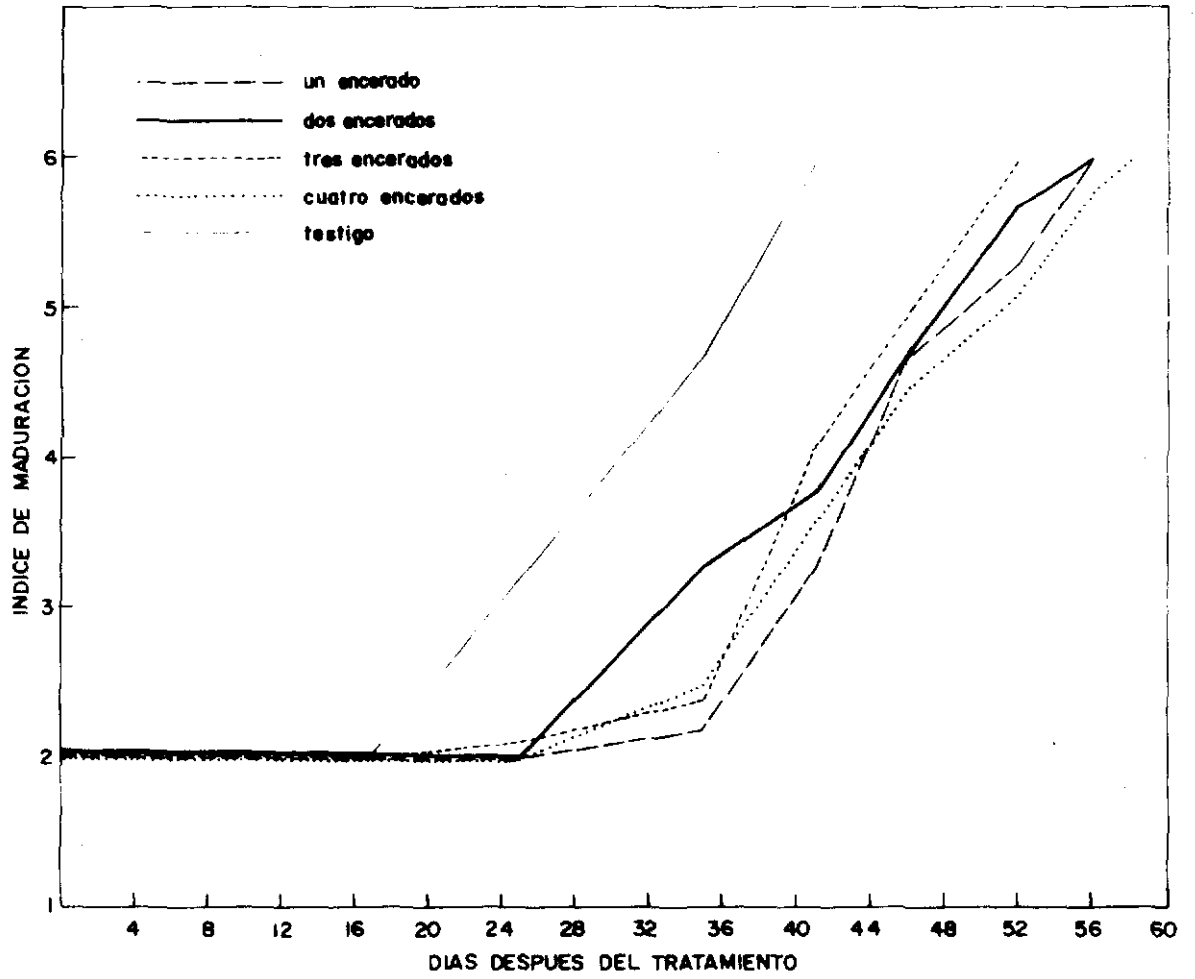


FIGURA 7. _ efecto del numero de encerados en la maduración de
 banano almacenado a 18° C y 77% HR.

TABLA IV

EFFECTO DEL NUMERO DE ENCEDADOS EN LA PERDIDA DE PESO
DE BANANO EN DEDOS, RECUBIERTOS POR INMERSION CON CERA SIN DILUIR,
ALMACENADOS A 15°C Y 90 % DE HR.

días después del tratamiento	PORCENTAJE DEL PESO ORIGINAL				
	NUMERO DE ENCEDADOS				
	UNO	DOS	TRES	CUATRO	TESTIGO
5	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
10	98.7	98.6	98.4	98.7	98.4
17	97.5	97.5	96.9	97.5	96.8
25	95.9	95.9	95.2	95.9	95.2
36	94.2	95.1	93.2	94.3	92.0
41	91.9	93.1	90.7	92.3	90.3
46	89.3	90.8	88.6	90.5	
52	87.8	89.1	86.8	88.9	

TABLA V

EFFECTO DEL NUMERO DE ENCERADOS EN LA PERDIDA DE PESO DE BANANO EN DEDOS, RECUBIERTOS POR INMERSION CON CERA SIN DILUIR, ALMACENADOS A CONDICIONES AMBIENTALES, 18⁰C Y 77 % DE HR.

días después del tratamiento	PORCENTAJE DEL PESO ORIGINAL				
	NUMERO DE ENCERADOS				
	UNO	DOS	TRES	CUATRO	TESTIGO
5	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
10	98.0	97.7	97.3	97.7	97.1
17	95.1	95.2	93.5	94.3	94.0
25	91.4	91.6	89.5	90.7	89.5
35	88.3	88.5	86.4	87.5	84.8
41	86.8	86.1	84.1	86.3	81.9
46	83.6	84.3	82.7	83.4	
52	81.2	82.1	80.7	81.0	

peso original, mientras que un encerado presentó para este día la menor pérdida de peso, 13.2 %.

Las Figuras 8 y 9 muestran el efecto del número de encerados en la pérdida de peso. Los tratamientos de la Figura 9 presentan una pérdida de peso mayor, debido a que la humedad relativa del almacenamiento fué menor.

El número de encerados no mostró relación directa con la disminución de la rata de pérdida de peso. En la Figura 8 se puede observar que el tratamiento con dos encerados almacenado bajo humedad relativa de 90 % perdió 2.8 % de peso menos que el testigo; mientras que bananos tratados con un encerado y almacenados a 77 % de humedad relativa perdieron 4.9 % de peso menos que el testigo (ver Figura 9).

4. Efecto de la temperatura sobre la maduración

Comparando los resultados de las Tablas I y II, se observa que el tratamiento con un encerado almacenado a 20°C tardó 33 días en desarrollar el grado seis de color, mientras que los bananos recubiertos con una capa de cera almacenados a 15°C demoraron 52 días para alcanzar el mismo grado de coloración. Entonces podría decirse que la temperatura afectó el proceso de maduración, retardando 19 días la vida comestible del banano; pero es necesario tener en cuenta que el grado de desarrollo del fruto en el momento de la cosecha fué diferente para los dos experimentos. En el experimento a 20°C se utilizó banano con 46/32 pulgadas de diámetro y a 15°C, banano con 44/32 pulgadas de diámetro; por consiguiente estos

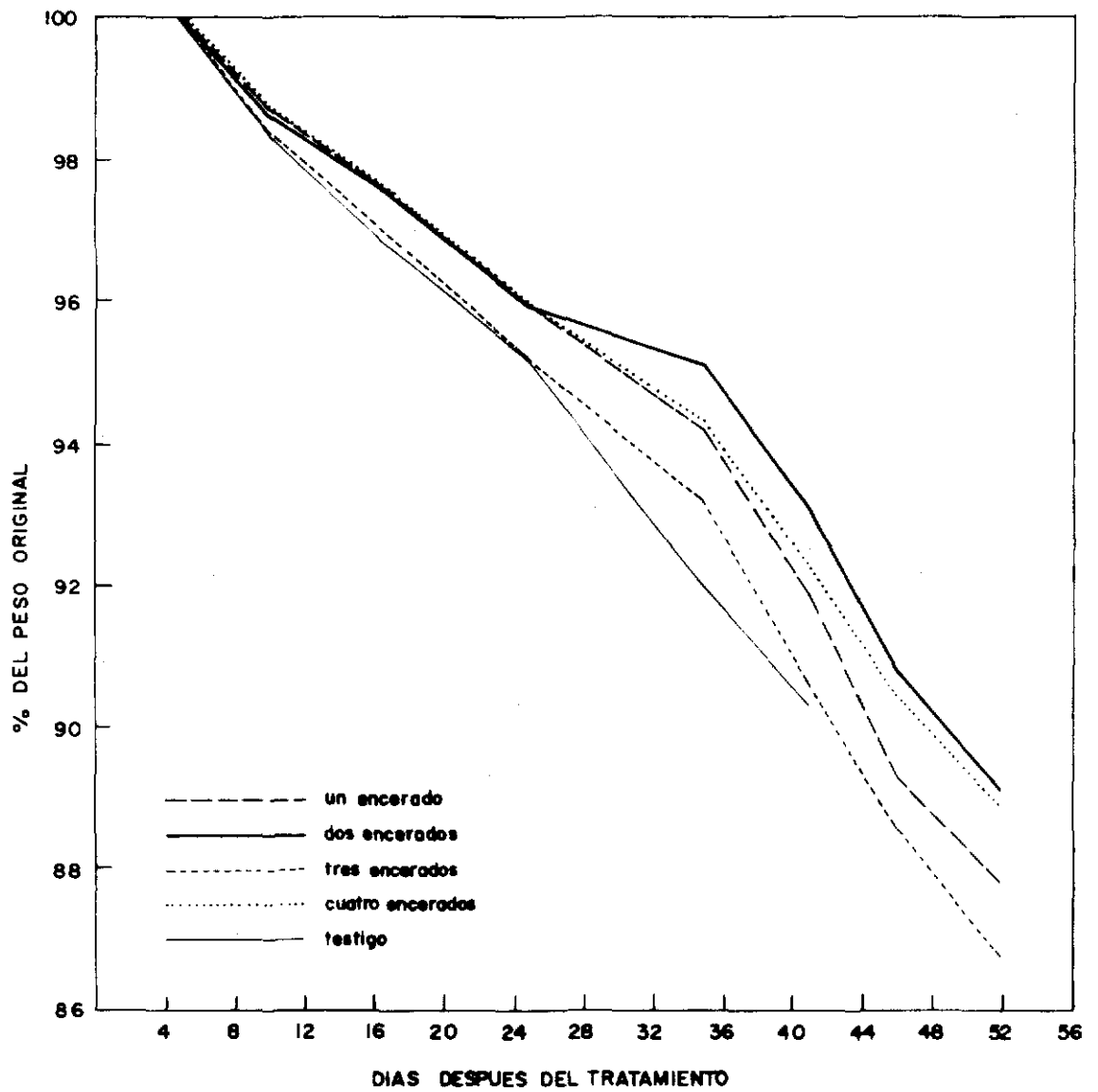


FIGURA 8 - efecto del número de encerados en la pérdida de peso durante la maduración de banano almacenado a 15° C y 90% HR.

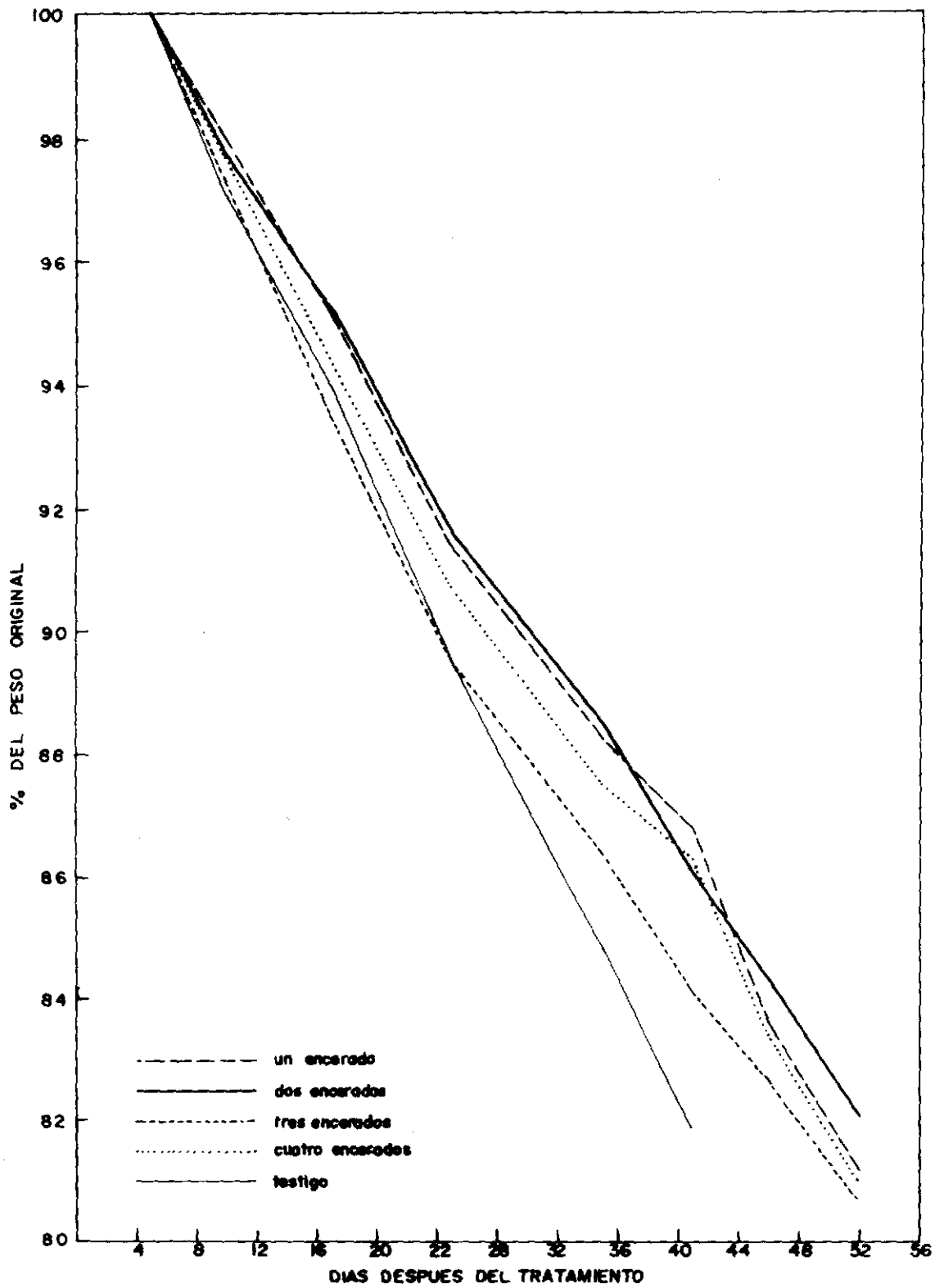


FIGURA 9.- efecto del numero de encerados en la perdida de peso durante la maduracion de banano almacenado a 18° C y 77% HR.

dos factores, temperatura y grado de desarrollo del fruto incidieron en el prolongamiento de la vida postcosecha del banano almacenado a 15°C.

En las Tablas II y III se observa que un encerado almacenado a 15°C maduró en 52 días, mientras que a temperatura ambiente (18°C), maduró en 56 días. Debido a una aireación inadecuada en la cámara empleada para el almacenamiento a 15°C, el etileno producido por la fruta aceleró el proceso de maduración, anulando la acción retardadora de una menor temperatura de almacenaje.

En el experimento realizado a 10°C y 90 % de humedad relativa, tanto banano encerado como no tratado fueron afectados por la baja temperatura. Al retirar los tratamientos al cabo de 41 días, se encontró que la fruta continuaba dura, exhibía fuertes quemaduras en la piel, presentaba sabor almidonado, gusto astringente y carecía de aroma; estas observaciones indican que la cubierta de cera no protegió suficientemente, resultando la temperatura demasiado baja para el desarrollo normal de los procesos bioquímicos asociados con el metabolismo de la maduración.

B. RESULTADOS DEL METODO UTILIZADO EN EL ANALISIS DE GASES

Los resultados de la rata de oxígeno consumido por banano son reproducibles y están de acuerdo con los reportados por la literatura. Brady et al. (12), encontraron que banano cavendish consume 68.7 ml O₂/kgr/h en el máximo del climaterio respiratorio y como se puede apreciar en la Tabla VI, banano no tratado consume en el máximo climatérico 98.8 mgr O₂/kgr/h, equivalentes a 69.2 ml O₂/kgr/h.

TABLA VI

RATA DE RESPIRACION, PRODUCCION DE ETILENO Y CAMBIO DE COLOR EN BANANO ALMACENADO A CONDICIONES AMBIENTALES, 17°C Y HR. DE 67 %

días después del tratamiento	TESTIGO			ENCERADO		
	COLOR	OXIGENO mgr/kg/h	ETILENO μl/kg/h	COLOR	OXIGENO mgr/kg/h	ETILENO μl/kg/h
9	2	21.9		2	23.9	
10	2	28.5		2	23.2	
11	2	27.6		2	18.9	
12	2	29.5		2	26.1	
13	2	28.8		2	25.8	
14	2	38.3		2	32.8	
15	2	33.6		2	32.1	
16	2	37.4		2	34.5	
17	2	30.8		2	28.2	
18	2	35.7		2	29.3	
19	2	42.9	2.5	2	32.4	
20	3	70.0	8.5	2	31.2	
21	3	98.8	5.6	2	30.8	
22	3	82.1	3.4	2	32.3	2.6
23	4	79.0	3.6	3	61.1	8.1
24	5	75.1	2.8	3	96.9	6.0

días después del tratamiento	TESTIGO			ENCERADO		
	COLOR	OXIGENO mgr/kgr/h	ETILENO μ l/kgr/h	COLOR	OXIGENO mgr/kgr/h	ETILENO μ l/kgr/h
25	5	80.9	2.7	3	85.4	3.5
26	6	78.0	3.8	4	79.7	3.4
27	6	83.8	3.5	5	74.0	3.2
28	7	84.9	3.8	5	68.5	3.6
29				5	72.0	3.7
30				5	70.5	3.8
31				6	69.6	3.2
32				6	68.9	3.4
33				6	58.4	3.9
34				7	65.5	3.3

El método cromatográfico de gases utilizado para analizar la producción de etileno es reproducible; sin embargo no fué posible comparar los resultados, porque no se encontraron datos reportados para la variedad cavendish. Amézquita (1), encontró en banano Gros Michel una producción máxima de etileno de 7.0 μ l/kgr/h. La mayor producción de etileno para banano cavendish fué de 8.5 μ l/kgr/h (ver Tabla VI).

C. EFECTO DEL ENCERADO EN LA ACTIVIDAD RESPIRATORIA DEL BANANO

En la Tabla VI se presentan los resultados de la rata de respiración en banano tratado y no tratado. La cantidad máxima de oxígeno consumido por banano encerado fué de 96.9 mgr/kgr/h y por banano testigo de 98.8 mgr/kgr/h, lo cual indica que la cera permite un desarrollo normal del climaterio respiratorio.

En la Figura 10 se aprecia el efecto de la cera en la rata de oxígeno consumido. El testigo presenta un incremento de la actividad respiratoria entre los días 19 y 21, correspondiente al climaterio. El banano encerado aumenta marcadamente la respiración entre los días 22 y 24, las alturas de los picos son aproximadamente iguales y en ambos casos se alcanza el máximo climatérico en 48 horas, después de las cuales la actividad respiratoria desciende levemente. En el postclimaterio la fruta tratada disminuye su nivel de respiración un poco más que la fruta no tratada.

D. EFECTO DEL ENCERADO EN EL ETILENO PRODUCIDO POR EL BANANO

La producción de etileno en banano encerado y no encerado se muestra en la Tabla VI. Es necesario tener en cuenta que durante el preclimaterio, el banano produce aproximadamente $0.05 \mu\text{l C}_2\text{H}_4/\text{kgr/h}$ (14), estas pequeñas cantidades fueron imposibles de detectar con el equipo utilizado en esta investigación y por esta razón la producción de etileno se reporta a partir del día 19 para testigo y 22 para encerado.

La rata de producción de etileno se muestra en la Figura 11; en la

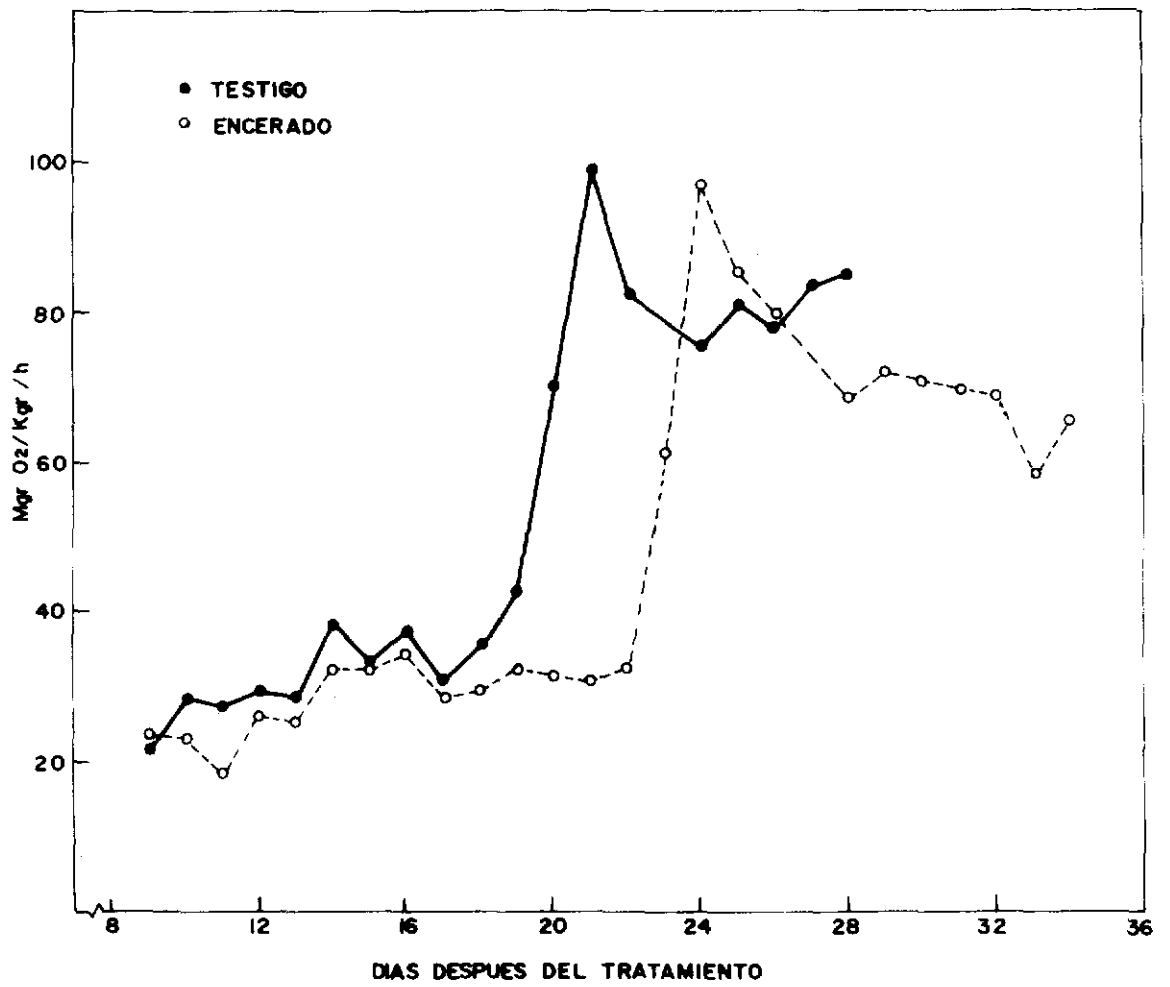


FIGURA 10.- efecto del encerado en la actividad respiratoria del banano.

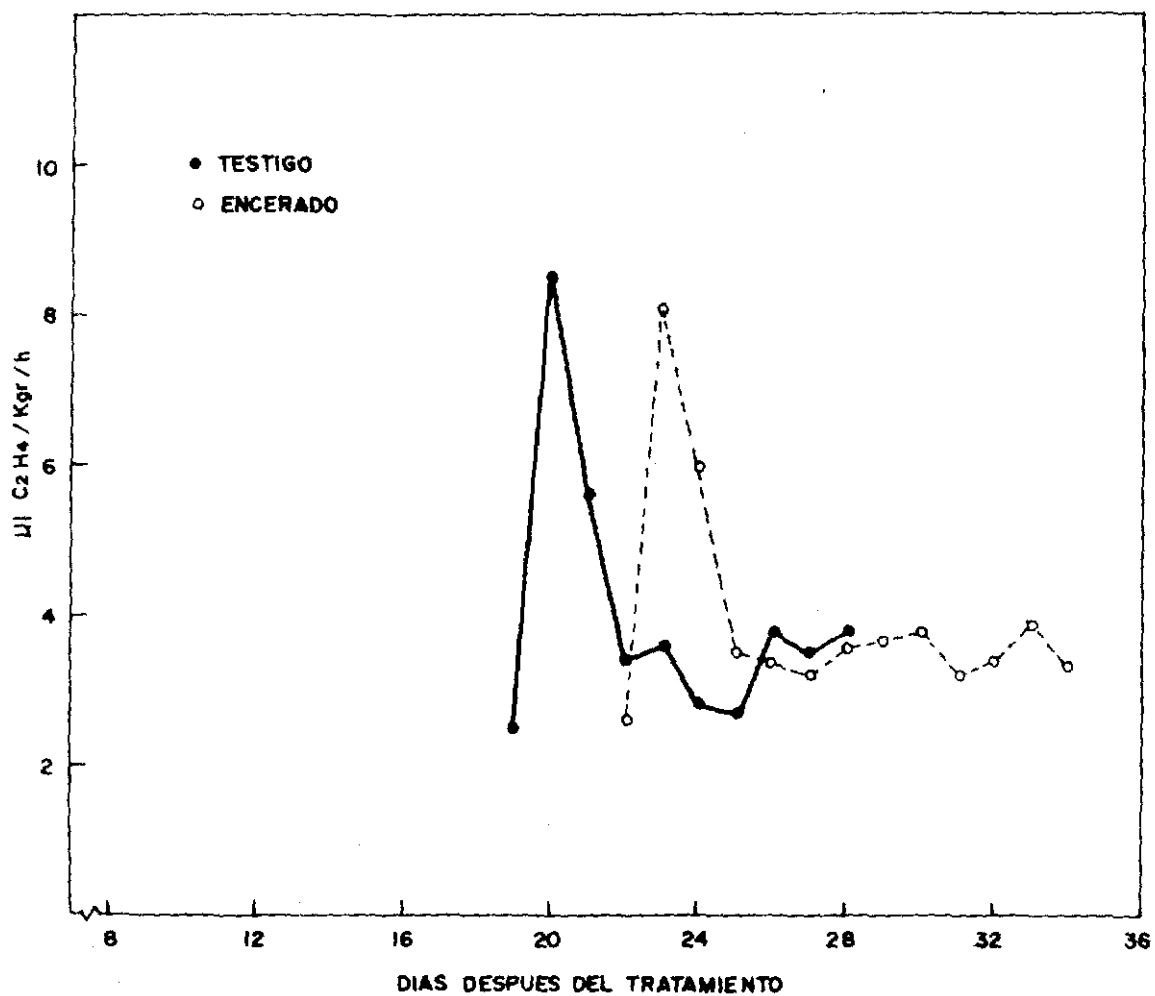


FIGURA II - efecto del encerado en la producción de etileno de banano.

fruta no tratada la producción máxima de etileno se registró el día 20 con un valor de 8.5 $\mu\text{l}/\text{kg}/\text{h}$ y para fruta encerada el día 23, con 8.1 $\mu\text{l}/\text{kg}/\text{h}$. En ambas curvas se observa que la producción máxima se desarrolla en 24 horas y desciende en las 48 siguientes, para permanecer aproximadamente constante a lo largo del período postclimático.

E. RELACION ENTRE LA RATA DE RESPIRACION, PRODUCCION DE ETILENO Y CAMBIOS DE COLOR

En la Tabla VI se encuentran los índices de coloración correspondientes a las muestras utilizadas para las determinaciones de oxígeno y etileno. En banano testigo el cambio de color se produjo más rápidamente que en banano encerado; la primera variación en el color se observó el día 20 para fruta no tratada y el día 23 para fruta encerada. El tratamiento encerado tardó 34 días en alcanzar el grado siete de color, mientras que el testigo demoró 28 días para llegar al mismo grado de coloración; por tanto el desarrollo del color siete, fué retardado 6 días por efecto del tratamiento.

La Figura 12 presenta las curvas de respiración y producción de etileno para banano no tratado. En el día 19 se detecta un nivel de etileno de 2.5 $\mu\text{l}/\text{kg}/\text{h}$, mientras el nivel de oxígeno es todavía bajo. Entre los días 19 y 20 se presenta un incremento de etileno hasta un máximo, el cual coincide con un aumento en la rata de consumo de oxígeno. Durante los días 20 y 21 la rata de producción de etileno desciende en forma marcada y la rata de respiración continúa aumentando. Entre los días 21 y 22 la producción de etileno desciende a los niveles iniciales y durante

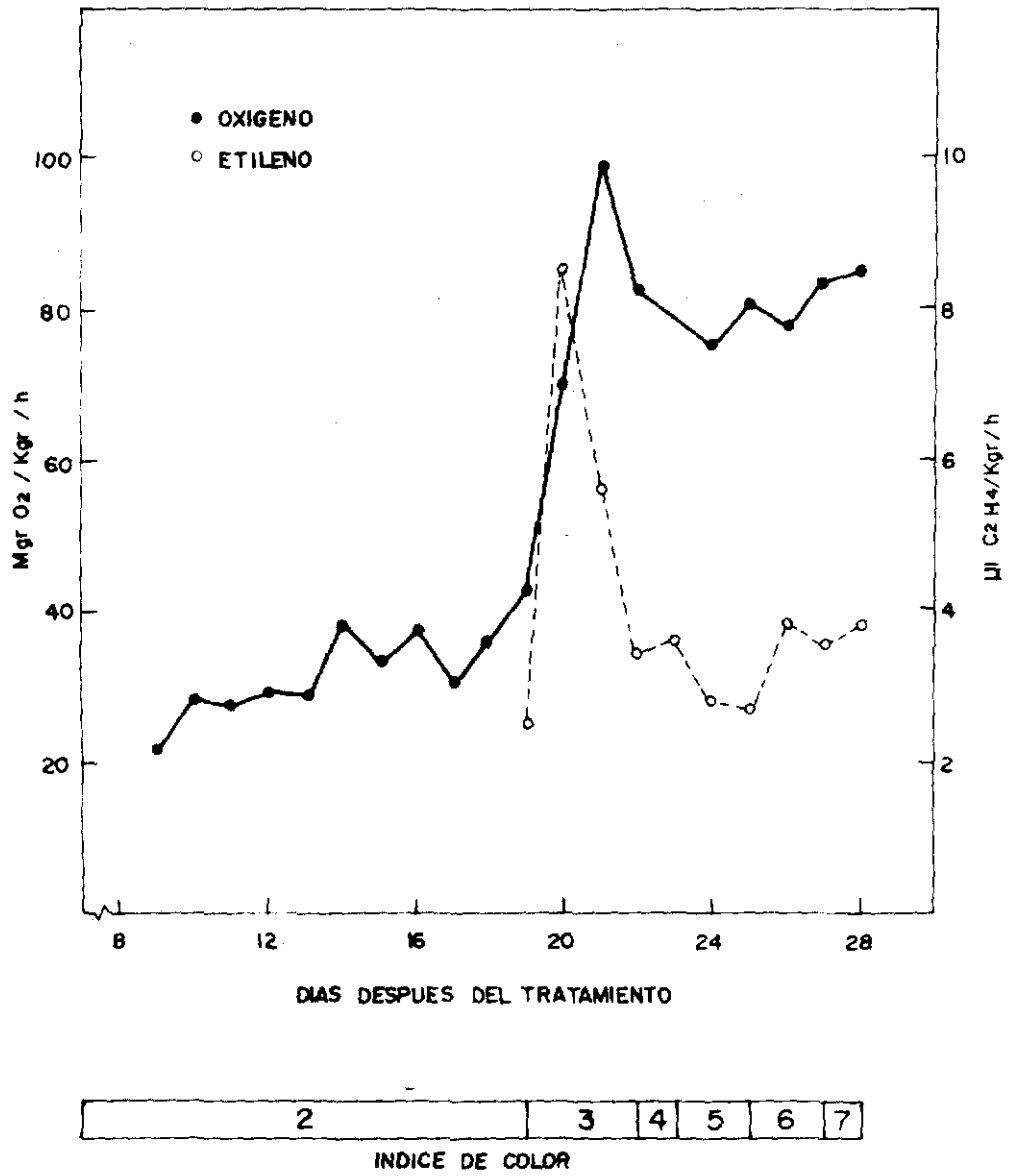


FIGURA 12 — relación entre la tasa de respiración, producción de etileno y desarrollo del color de la piel de banana no tratado.

este tiempo la rata de consumo de oxígeno solo disminuye ligeramente. Posteriormente el etileno continúa a niveles bajos mientras la actividad respiratoria permanece alta, lo cual indica que ratas elevadas de respiración pueden ocurrir a niveles bajos de etileno y que el pico de producción de etileno tiene efecto inductivo o catalítico en la respiración climatérica, pues no guarda relaciones estequiométricas con la actividad posterior.

La Figura 13 muestra las ratas de respiración y producción de etileno para banano encerado. En el día 23 se observa una producción máxima de etileno, que coincide con el primer aumento en la respiración; para el día 24 la actividad respiratoria ha llegado a su máximo, mientras que la producción de etileno ha descendido. Del día 25 en adelante la producción de etileno permanece a niveles bajos, mientras que la actividad respiratoria continúa alta.

Estos resultados comprueban que el comportamiento del etileno es similar en banano encerado y sin encerar y actúa como una hormona estimuladora de la respiración climatérica.

En las Figuras 12 y 13 se observa que el primer cambio en la coloración de la piel coincide con el incremento en la producción de etileno. Esta correlación entre la primera variación externa de color y la evolución de los gases es de gran importancia, porque un simple examen de color podría ser suficiente para determinar el momento en que la fruta inicia los procesos metabólicos relacionados con la maduración.

La fruta encerada permanece 7 días en coloración cinco y seis, mientras

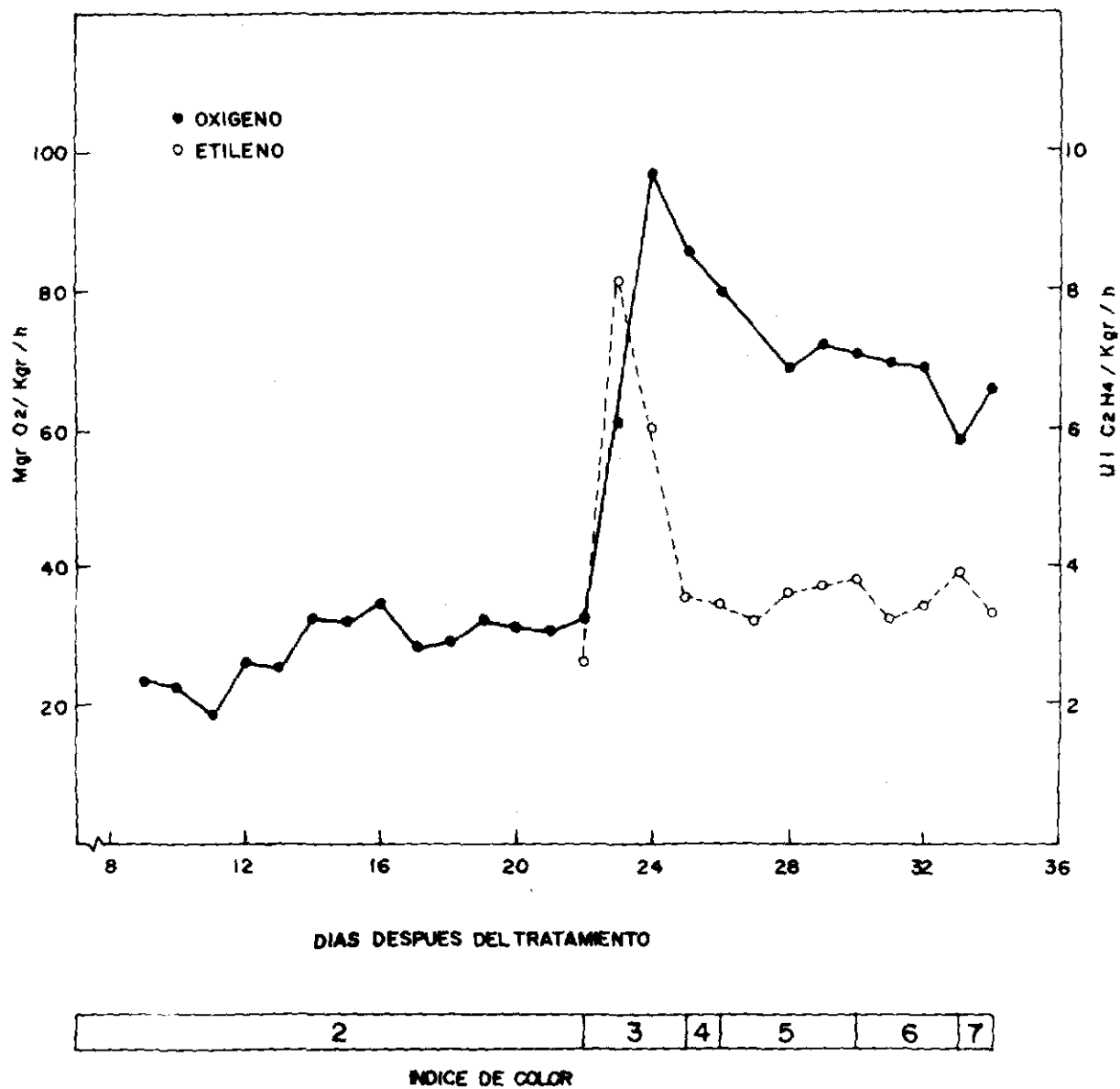


FIGURA 13.- relación entre la rata de respiración, producción de etileno y desarrollo del color de la piel de banana encerado.

que el testigo se mantiene tan solo 4 días en estos estados (ver Figuras 12 y 13), lo cual indica que la cera no solamente actúa retardando 3 días la iniciación del climaterio, sino que extiende durante 3 días más el período postclimatérico de la fruta. Si la cera afecta la rata de difusión de oxígeno se puede pensar que las reacciones preclimatéricas y postclimatéricas son más sensibles a la lenta difusión que las reacciones del climaterio.

F. EFECTO DEL ENCERADO EN LA TRANSFORMACION DE CARBOHIDRATOS DEL BANANO

La Tabla VII registra los resultados de la transformación de los carbohidratos durante la maduración. Hasta el día 19 el nivel de carbohidratos totales permanece relativamente constante en el testigo y lo que ocurre esencialmente es transformación de almidón en glucosa. Entre los 19 y 23 días, período que coincide con el climaterio, se acelera la conversión del almidón y hay una pérdida neta de carbohidratos totales causada por la rata elevada de respiración. Posteriormente entre los 23 y 26 días continúa la transformación de almidón en azúcar y la utilización de éstos disminuye al descender la rata de respiración, sin embargo el consumo de carbohidratos continúa con el tiempo. En los bananos tratados se presentan esencialmente los mismos procesos y en intensidad similar, pero un poco más tarde (ver Figuras 14 y 15). Así mientras que en los bananos sin encerar el cambio máximo de almidón a glucosa ocurre entre los 19 y 23 días, en los encerados comienza después del día 23, e igual ocurre con la máxima utilización de carbohidratos totales.

TABLA VII

CARBOHIDRATOS EN PULPA DE BANANO
 ALMACENADO A CONDICIONES AMBIENTALES, 17°C Y 67 % DE HR.,
 EXPRESADOS COMO PORCENTAJE DE PULPA FRESCA

días después del tratamiento	TESTIGO				ENCERADO			
	COLOR	ALMIDON	AZUCAR	CARBOHIDRATO TOTAL	COLOR	ALMIDON	AZUCAR	CARBOHIDRATO TOTAL
8	2	19.45	1.5	20.9	2	20.00	0.9	20.9
12	2	18.78	2.3	21.1	2	19.70	1.3	21.0
19	3	16.06	5.1	21.2	2	18.20	2.8	21.0
23	5	5.22	14.8	20.0	3	15.95	5.0	20.9
26	6	2.11	17.3	19.4	4	8.55	11.4	19.9
33	8	1.00	17.0	18.0	6	1.82	17.7	19.5
39					8	0.83	17.4	18.2

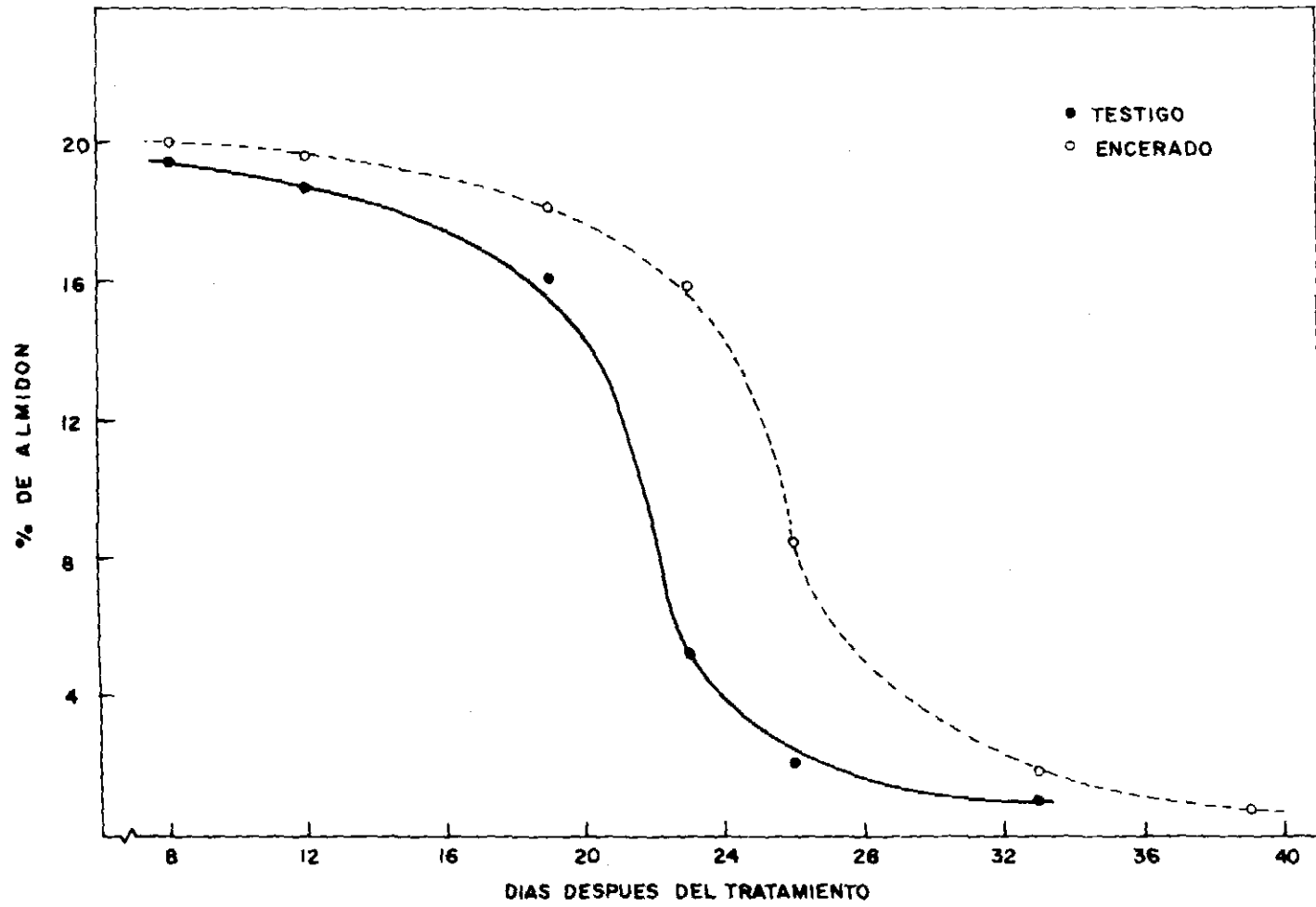


FIGURA 14.- variación en el contenido de almidón durante la maduración del banano.

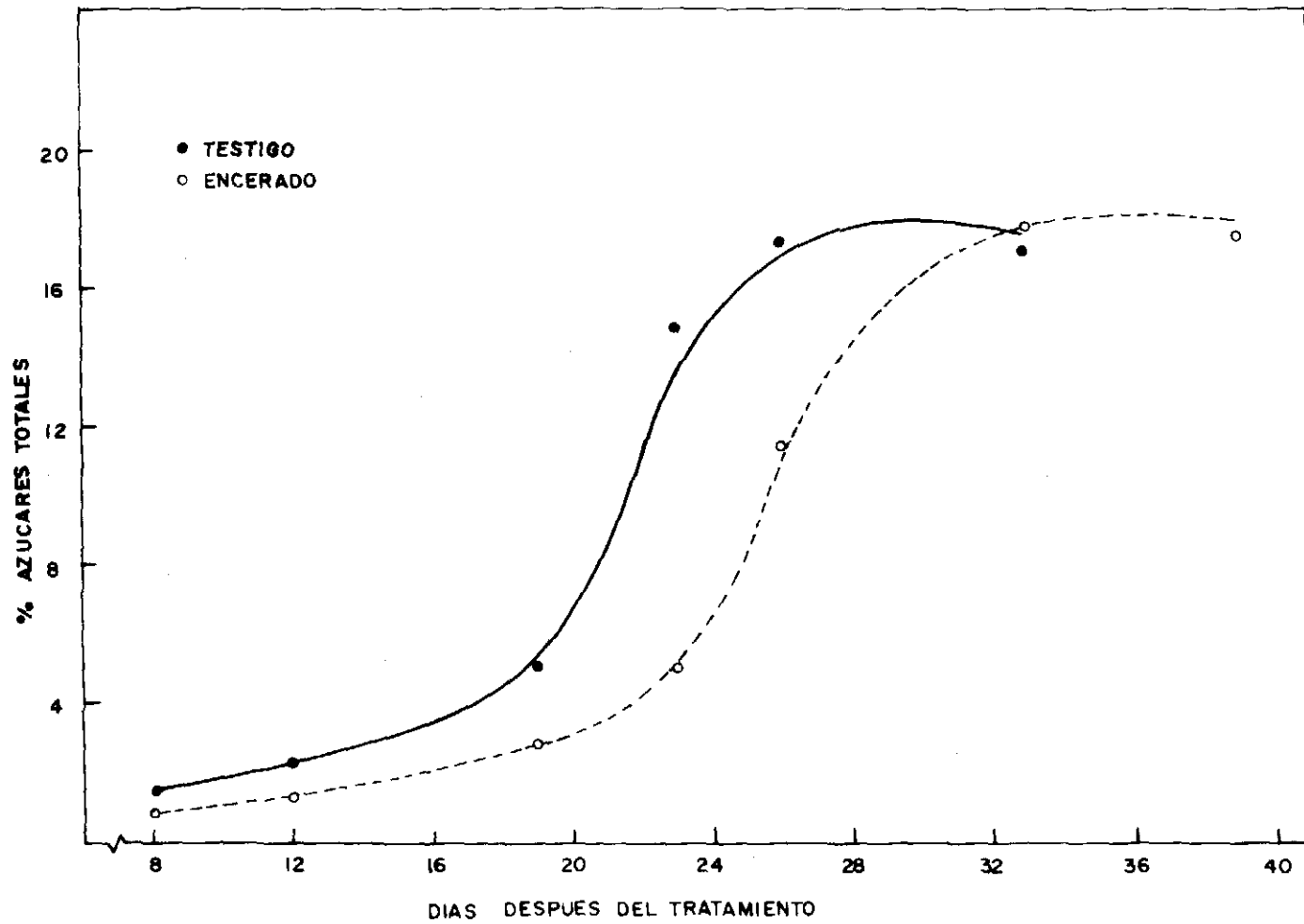


FIGURA 15.- variación en el contenido de azúcares totales durante la maduración del banana.

Lo anterior parece indicar que el comienzo de la producción de cantidades detectables de etileno, coincide con la iniciación de los cambios externos de color y con una aceleración de las actividades enzimáticas asociadas con la conversión de almidón a azúcar.

G. EFECTO DEL ENCERADO EN LA APARIENCIA DE LA FRUTA

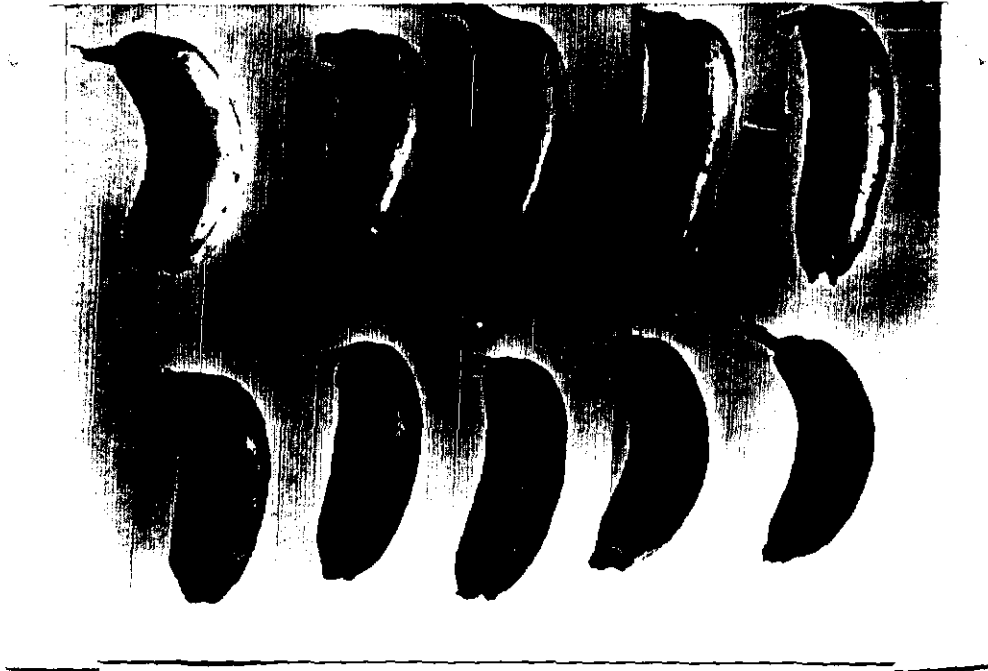


FIGURA 16: Efecto de la cera en la apariencia del banano, 33 días después del tratamiento. Almacenamiento: ambiente (17°C y 67 % de HR).
Arriba: encerado. Abajo: no encerado

La Figura 16 muestra el efecto de la cera en la apariencia de la fruta. El encerado inhibe el ennegrecimiento, imparte un brillo atractivo a la piel, reduce el decaimiento en las áreas de corte, elimina el crecimiento de hongos en la zona del pedúnculo y disminuye notablemente el

enjutamiento y pérdida de volumen asociada con el almacenaje.

H. EFECTO DE LA CERA EN LAS CARACTERISTICAS ORGANOLEPTICAS DEL BANANO

En la Table VIII se muestran los resultados del análisis organoléptico. Se observa que es difícil detectar el banano que ha sido sometido al tratamiento con cera, porque este proceso parece no afectar las características organolépticas de la fruta. En general, banano encerado y testigo fueron calificados como buenos en un alto porcentaje en cuanto al sabor, olor, textura y consistencia. La apariencia fué calificada como buena en un 100 %, para las tres muestras.

El sabor de la fruta no se afectó por la cubierta, por el contrario se preservó favorablemente porque se redujo marcadamente la pérdida de agua y la desecación.

TABLA VIII
EFFECTO DEL ENCERADO EN LAS CARACTERISTICAS
ORGANOLEPTICAS DEL BANANO

	MUESTRAS					
	A	B	C	A	B	C
	bueno			regular		
SABOR						
respuesta	14	14	15	1	1	-
porcentaje	93	93	100	7	7	-
OLOR						
respuesta	12	14	14	3	1	1
porcentaje	80	93	93	20	7	7
TEXTURA						
respuesta	15	14	13	-	1	2
porcentaje	100	93	86	-	7	14
CONSISTENCIA						
respuesta	14	14	14	1	1	1
porcentaje	93	93	93	7	7	7

A = Testigo

B y C = Encerado

VI. CONCLUSIONES

VI. CONCLUSIONES

Es posible prolongar el período postcosecha del banano por una semana, sumergiendo la fruta totalmente en cera TAG concentrada; una sola inmersión es suficiente para obtener este efecto,

La extensión de la vida útil del banano encerado está asociada con: restricción en la pérdida de peso, inhibición del ennegrecimiento de la piel, reducción del decaimiento en las áreas de corte e incremento de la irregularidad de la maduración.

La rata de producción de etileno es similar en banano encerado y sin encerar, la acción del encerado consiste en retardar 3 días la producción máxima respecto al testigo. El incremento en la producción de etileno, tanto en banano tratado como no tratado, coincide con la primera variación en el color de la piel.

El encerado prolonga el preclimaterio de la fruta disminuyendo la rata de respiración durante este período, lo cual ocasiona un retardo de 3 días en la iniciación del climaterio, pero una vez iniciado éste, se desarrolla con la misma rapidez e intensidad que en la fruta no tratada. Durante el postclimaterio el nivel de respiración desciende un poco más en fruta encerada, hecho que corresponde con la permanencia de 3 días más en los grados cinco y seis de color, respecto al testigo.

Tanto en banano encerado como no encerado, la producción máxima de

etileno precede 24 horas el pico climatérico; durante el postclimaterio la rata de respiración permanece alta y la producción de etileno baja, lo cual indica que el etileno actúa como un iniciador de la respiración climatérica.

El encerado disminuye el consumo de oxígeno en el preclimaterio, lo cual trae como consecuencia una baja concentración interna de oxígeno dentro de la fruta que inhibe el mecanismo de activación del etileno; pero una vez alcanzada la concentración estimuladora necesaria, el climaterio se desarrolla normalmente y la intensidad de los procesos metabólicos no se afecta en modo alguno, obteniéndose los cambios usuales de color, conversión de almidón en azúcar, pérdida de firmeza y desarrollo típico de aroma y sabor.

La cámara de respiración usada en esta investigación, resultó práctica y económica, porque su construcción es barata y sencilla, utiliza aire atmosférico, facilita la extracción de las muestras gaseosas y permite determinar simultáneamente oxígeno y etileno.

Los métodos cromatográficos establecidos para analizar oxígeno y etileno son aplicables a otros productos, lo cual abre paso a investigaciones futuras, tendientes a establecer las características climatéricas de otras frutas tropicales. El conocimiento de la intensidad de los fenómenos respiratorios y la producción de etileno son de fundamental importancia para controlar maduración, tecnificar los métodos de almacenamiento e incrementar el desarrollo de la industria de frutas.

VII. RESUMEN

VII. RESUMEN

El banano no permite almacenamiento a temperaturas inferiores a 12.5°C , estas temperaturas de almacenaje relativamente altas hacen que la maduración se desarrolle en un período corto, por tanto el transporte debe realizarse en forma acelerada y en algunas ocasiones, interrupciones imprevistas producen grandes pérdidas económicas. El objetivo de la presente investigación fué prolongar la vida postcosecha del banano recubriéndolo con cera comercial TAG. Se estudió el efecto de la concentración de la cera, método de aplicación y espesor del encerado en banano cavendish; se analizaron los efectos de la cera en el metabolismo de la fruta, evaluando la rata de respiración, producción de etileno y transformación de carbohidratos.

Se encontró que al rebajar el contenido de ingredientes activos de la cera a la mitad, la cubierta no ofrece una protección tan positiva; la aplicación por inmersión es más conveniente que la aplicación por aspersión y una capa es suficiente para prolongar en una semana la vida postcosecha del banano. El encerado reduce la pérdida de peso, retarda la desecación, previene el ennegrecimiento e imparte brillo a la piel mejorando la apariencia de la fruta. La extensión de la maduración se desarrolla en dos etapas: se retarda la iniciación del climaterio y se prolonga el período postclimatérico.

Las ratas de respiración y de producción de etileno se analizaron por cromatografía de gases. El banano se introdujo en una cámara sellada

por espacio de tres horas, al cabo de las cuales se evaluó la cantidad de oxígeno consumido y etileno producido. Se encontró que la fruta encerada produce un climaterio típico de respiración y permite una difusión normal del etileno a la atmósfera. El encerado prolonga la maduración porque hace más lento el consumo de oxígeno en el preclimaterio, retardando la formación de etileno endógeno el cual estimula la maduración.

El contenido de almidón se determinó por el método polarimétrico de Lintner y los azúcares se valoraron por el método de Lane y Eynon. Los análisis de carbohidratos y evaluaciones sensoriales revelaron que no se produjeron cambios adversos en la composición química y en el sabor de la fruta encerada.

VIII. BIBLIOGRAFIA

VIII. BIBLIOGRAFIA

1. AMEZQUITA, R. 1964. Effect of gamma irradiation on the post harvest behavior of 'Gros Michel' bananas. M. S. Thesis. University of California, Davis. 40 p. (Mimeografiada).
2. BARKER, J. and T. SOLOMOS. 1962. Mechanism of the climateric rise in respiration in banana fruits. *Nature* 196:189.
3. BAUR, A. and S.F. YANG. 1969. Ethylene production from propenal. *Plant Physiol.* 44:189-192.
4. BAUR, J.R. and M. WORKMAN. 1964. Relationship between cell permeability and respiration in ripening banana fruit tissue. *Plant Physiol.* 39(4):540-543.
5. BEEVERS, H. 1961. Respiratory metabolism in plants. Harper and Row, New York. 232 p.
6. BEN-YEHOSHUA, S. 1966. Some effects of plastic skin coating on banana fruit. *Trop. Agric. (Trin.)* 43(3):219-231.
7. BIALE, J.B. 1950. Post harvest physiology and biochemistry of fruits. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 1:163-206.
8. BIALE, J.B.; R.E. YOUNG and ALICE J. OLMSTEAD. 1954. Fruit respiration and ethylene production. *Plant Physiol.* 29:168-174.

9. BLAKE, J.R. 1966. Some effects of paraffin wax emulsions on bananas. *Queensland Jour. Animal Sci.* 23(1):49-56.
10. BONNER, J. y A.W. GALSTON. 1955. Principios de fisiología vegetal. Trad. la. ed. en Inglés por F. Portillo. Aguilar, Madrid. 485 p.
11. BONNER, J. and J.E. VARNER. 1965. Plant Biochemistry. Academic press, New York. 1053 p.
12. BRADY, C.J.; P.B.H. O'CONNELL; J. SMYDZUK and N.L. WADE. 1970. Permeability, sugar accumulation, and respiration rate in ripening banana fruits. *Aust. Jour. Biol. Sci.* 23(6):1143-1152.
13. BURG, S.P. 1962. The physiology of ethylene formation. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 13:265-302.
14. BURG, S.P. and ELLEN A. BURG. 1962. Role of ethylene in fruit ripening. *Plant Physiol.* 37(2):179-189.
15. ————. 1965. Ethylene action and the ripening of fruits. *Science* 148:1190-1196.
16. ————. 1965. Relationship between ethylene production and ripening in bananas. *Botan. Gaz.* 126(3):200-204.
17. ————. 1967. Molecular requirements for the biological activity of ethylene. *Plant Physiol.* 42:144-152.

18. COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA, OFICINAS DE PLANEAMIENTO
SECTOR AGROPECUARIO OPSA. 1972. Programas agrícolas para
1972. pp. 143-150.
19. CONN, E.C. y P.K. STUMPF. 1969. Bioquímica fundamental. Trad.
2a. ed. en Inglés por O. Anguera y R. Yañez. Limusa Wiley,
México. 480 p.
20. COUTANCEAU, M. 1965. Fruticultura. Trad. 1a. ed. en Francés
por D.J. Simorra. Ediciones Occidente, Barcelona. pp. 517-
539.
21. COX, H.E. and D. PEARSON. 1962. The chemical analysis of foods.
Chemical publishing, New York. pp. 119-120.
22. CHAMPION, J. 1963. Le bananier. G.P. Maisonneuve et Larose,
Paris. 263 p.
23. DIETZ, W.A. 1967. Response factors for gas chromatography ana-
lysis. Jour. Gas Chromatog. 5(2):68-71.
24. DUQUE de R., CARMENZA. 1972. Estandarización de algunos méto-
dos para análisis de carbohidratos por cromatografía de gases
y su aplicación al proceso de deshidratación del banano.
Tesis Químico. Universidad Nacional, Bogotá. pp. 15-16.
(Mimeografiada).
25. EHEART, J.F. and B.S. MASON. 1967. Sugar and acid in the edible
portion of fruits. Jour. Amer. Diet. Ass. 50(2):130-132.

26. FONSECA G., J. 1965. El banano y el plátano, estudios. Ministerio de Agricultura, División de cultivos, Bogotá. pp. 1-11.
27. FRUIT DISPATCH COMPANY. 1949. Banana ripening manual. The Fruit Dispatch Company, New York. pp. 7-8.
28. GUTIERREZ S., J.; H. RINCON R. y RUTH BUITRAGO T. 1969. Normas de estilo para publicaciones científicas. Instituto Colombiano Agropecuario ICA, Bogotá. 59 p. (Publicación Miscelánea No. 12).
29. HALL, C.W. y F. SALAS A. 1968. Equipo para procesamiento de productos agrícolas. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, Lima. p. 164.
30. HANSEN, E. 1966. Postharvest physiology of fruits. Ann. Rev. Plant Physiol. 17:459-480.
31. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO, BOGOTA. 1969. Informe anual de labores, Programa Nacional de Fitopatología. pp. 130-133.
32. JURIN, V. and M. KAREL. 1963. Studies on control of respiration of McIntosh apples by packaging methods. Food Technol. 17: 782-786.
33. LYONS, J.M.; W.B. McGLASSON and H.K. PRATT. 1962. Ethylene production, respiration and internal gas concentrations in cantaloupe fruits at various stages of maturity. Plant Physiol. 37(1):31-36.

34. MAKHTESHIM CHEMICAL WORKS LTD., BEER-SHEVA ISRAEL. 1970. Tag:
a new wax emulsion coating for fruit. (Mecanografiado).
35. MANZO, A.J. 1971. Manual para la preparación de monografías.
Hvmanitas, Buenos Aires. 122 p.
36. MARTINEZ Z., F. 1964. Fruticultura. Instituto Nacional de In-
vestigaciones Agronómicas, Madrid. pp. 196-228.
37. MAXIMOV, N.A. 1946. Fisiología vegetal. Trad. 2a. ed. en
Inglés por A.T. Hunziker. Acme Agency, Soc. Resp., Buenos
Aires. pp. 81-82.
38. McNAIR, H.M. and E.J. BONELLI. 1967. Basic gas chromatography.
Consolidated printers, Berkley, California. p. 121.
39. PANDURANG, D. 1970. Introducción a la Bioquímica. Universidad
Nacional de Colombia. Facultad de Medicina Veterinaria y
Zootecnia, Bogotá. 142 p.
40. PEACOCK, B.C. 1966. Relationship between certain physical changes
and the climateric phase in the banana. Queensland Jour.
Agric. Animal Sci. 23(1):77-80.
41. POLAND, G.L.; J.T. MANION; M.W. BRENNER and P.L. HARRIS. 1938.
Sugar changes in the banana during ripening. Ind. Eng. Chem.
30(3):340-342.
42. PORRITT, S.W. 1951. The role of ethylene in fruit storage.
Scient. Agric. 31:99-112.

43. PRATT, H.K. and H.D. GOESCHL. 1969. Physiological roles of ethylene in plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 20:541-584.
44. QUAZI, M.H. and H.T. FREEBAIRN. 1970. The influence of ethylene, oxygen and carbon dioxide on the ripening of bananas. *Botan. Gaz.* 131(1):6-14.
45. RANGANATHAN, S., Jr. 1928. Carbohydrate changes during the ripening of plantains. *Jour. Indian Inst. Sci.* 11A, part VII:80-83.
46. SIMMONDS, N.W. 1959. *Bananas*. Longmans, London. 446 p.
47. STAMBUK, J.D. 1970. *Manual práctico de cromatografía de gases*. Ediciones Guadalupe, Bogotá. p. 1.
48. URLICH, R. 1958. Post harvest physiology of fruits. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 9:385-416.
49. VILLAVECCHIA, V. 1935. *Tratado de Química Analítica Aplicada*. Trad. por T. Estalella 2a. ed. Editorial Gustavo Gili, Barcelona. V. 2., pp. 17-85.
50. VON LOESECKE, H.W. 1949. *Bananas*. 2a. ed. Interscience, New York. V. 1., 189 p.
51. VOSTI, D.C.; H.H. HERNANDEZ and J.B. STRAND. 1961. Analysis of headspace gases in canned foods by gas chromatography. *Food Technol.* 15:29-31.

52. WINTON, A.L. y K.B. WINTON. 1958. Análisis de alimentos.
Trad. 1a. ed. en Inglés por F.J.Vallejo. 2a. ed. Editorial Hispano Americana, Barcelona. pp. 209-212.
53. WYLMAN, H. and J.K. PALMER. 1964. Organic acids in the ripening banana fruit. *Plant Physiol.* 39(4):630-633.
54. YOUNG, R.E.; R.J. ROMANI and J.B. BIALE. 1962. Carbon dioxide effects on fruit respiration. II. Response of avocados, bananas and lemons. *Plant Physiol.* 37(3):416-422.

IX. APENDICES

IX. A P E N D I C E S

A. DETERMINACION DEL INDICE DE MADUREZ Y PERDIDA DE PESO

1. Evaluación del índice de madurez

Para determinar el índice de madurez del banano se promedia el grado de color de las unidades individuales integrantes de cada tratamiento. El color se establece comparando la carta de Von Loesecke (Figura 2) con la coloración de la fruta en el momento de la observación.

2. Evaluación de la pérdida de peso

La evaluación de la pérdida de peso en la fruta se realizó de la siguiente forma: se pesaron una vez por semana los dedos individuales de cada uno de los tratamientos del Experimento No. 2. Se tomó el quinto día después de aplicado el tratamiento como punto de partida para las determinaciones y los valores de los pesos de este día, se asumieron como el 100 %. El porcentaje del peso original para un día (x) se calcula aplicando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ del peso original día (x)} = \frac{100 \times \text{peso promedio día (x)}}{\text{peso promedio día (5)}}$$

B. CALCULOS PARA LA DETERMINACION DE OXIGENO

La respuesta del detector de conductividad térmica se comprobó para las concentraciones empleadas, efectuando un análisis de aire cuya composición es ampliamente conocida. Por esta razón se aplicaron los factores de respuesta encontrados en la literatura (23, 38), para el oxígeno 0.80 y para el nitrógeno 0.67 .

Los picos obtenidos en los cromatogramas son simétricos y muy agudos. El ancho a media altura resulta del orden de uno a dos milímetros, mientras que la altura puede tener un valor cien veces mayor; puesto que el área es el producto de los dos valores, cualquier error en la aproximación de una décima de milímetro en el ancho, afecta el resultado del área grandemente. Bajo estas condiciones es preferible medir únicamente las alturas de los picos.

El porcentaje de oxígeno presente en el aire en el instante en que comienza a registrarse la respiración de la fruta (t_0), se calcula de la siguiente forma:

$$\% \text{ Oxígeno } (t_0) = \frac{h_{O_2}(t_0) \times 0.80}{h_{O_2}(t_0) \times 0.80 + h_{N_2}(t_0) \times 0.67} \times 100$$

$h_{O_2}(t_0)$ = Altura en mm del pico del oxígeno a tiempo cero de la prueba.

$h_{N_2}(t_0)$ = Altura en mm del pico del nitrógeno a tiempo cero de la prueba.

Puesto que la concentración del nitrógeno no varía durante el análisis, es factible calcular el porcentaje de oxígeno presente en la cámara al cabo de un tiempo (t_x) de respiración:

$$\% \text{ Oxígeno } (t_x) = \frac{hO_2(t_x)/hN_2(t_x) \times \% O_2(t_0)}{hO_2(t_0)/hN_2(t_0)}$$

$hO_2(t_x)$ = Altura en mm del pico del oxígeno a tiempo x de la prueba.

$hN_2(t_x)$ = Altura en mm del pico del nitrógeno a tiempo x de la prueba.

El porcentaje de oxígeno consumido por la fruta es:

$$\% \text{ Oxígeno } (c) = \% O_2(t_0) - \% O_2(t_x)$$

Asumiendo el volumen total de gases que contiene la cámara como el 100 % se calculan los mililitros de oxígeno consumido:

$$\text{ml Oxígeno } (c) = \frac{\% O_2(c) \times V}{100}$$

V = Volumen cámara (ml) - volumen desalojado por la fruta (ml).

Conociendo la temperatura y presión atmosférica ambiental se pasan los mililitros de oxígeno consumido a gramos:

$$\text{gr Oxígeno } (c) = \frac{\text{Litros } O_2(c) \times 273^{\circ}\text{C} \times P \text{ mm de Hg} \times 32 \text{ gr}}{(273^{\circ}\text{C} + T^{\circ}\text{C}) \times 760 \text{ mm de Hg} \times 22.4 \text{ litros}}$$

La rata de oxígeno consumido se expresa en miligramos por kilogramo de fruta fresca por hora:

$$\text{mgr } O_2 / \text{kgr} / \text{h} = \frac{\text{gr } O_2(c) \times 60 \text{ min.} \times 1.000 \text{ gr}}{t_x \text{ min.} \times \text{peso en gr fruta}} \times 1.000$$

Por cada muestra se hacen tres inyecciones y se promedian los datos.

C. CALCULOS PARA LA DETERMINACION DE ETILENO

Los cálculos se efectúan en base a la altura de los picos, por la misma razón expuesta en la determinación de oxígeno.

Por medio de la ionización por llama no se detecta nitrógeno, por lo cual no es posible medir las alturas relativas a este compuesto. Por ésto es necesario tener algunas precauciones al inyectar tanto la muestra como el patrón. Deben realizarse varias inyecciones de volumen equivalente, para obtener tres picos de etileno, cuyas alturas sean reproducibles y se puedan promediar sus valores.

Tanto la altura promedio del etileno de la muestra, como la del patrón se reducen a atenuación X 1 y a un mililitro de volumen de inyección.

El porcentaje de etileno producido se calcula con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Etileno} = \frac{H_{pm} \times 99.99 \%}{H_{pp}}$$

H_{pm} = Altura promedio en mm de la muestra, por ml, por atenuación X 1.

H_{pp} = Altura promedio en mm del patrón, por ml, por atenuación X 1.
 99.99 % = Concentración del patrón de etileno.

Asumiendo el volumen total de gases que contiene la cámara como el 100 %, se calculan los mililitros de etileno producido:

$$\text{ml Etileno} = \frac{\% C_2H_4 \times V}{100}$$

V = Volumen cámara (ml) - volumen desalojado por la fruta (ml).

La rata de producción de etileno se expresa en microlitros por kilogramo de fruta fresca por hora:

$$\mu\text{l } C_2H_4 / \text{kgr} / \text{h} = \frac{\text{ml } C_2H_4 \times 60 \text{ min.} \times 1.000 \text{ gr}}{\text{t. min. de resp.} \times \text{peso fruta gr}} \times 1.000$$

D. EMPAQUE DE LA COLUMNA CROMATOGRÁFICA UTILIZADA EN LA DETERMINACIÓN DE ETILENO

La columna se lava previamente con ácido clorhídrico al 2 %, luego con agua destilada, cloroformo y se seca por medio de aire a presión.

Para una columna de cinco pies de longitud y 1/8 de pulgada de diámetro se pesan 3.65 gr de óxido de aluminio activado.

Se toma la columna sin doblar y se taponan sin ajustar uno de sus extremos con lana de vidrio silanizada y se conecta al vacío. Se coloca un embudo en el otro extremo y se va introduciendo lentamente la alúmina utilizando un vibrador para obtener un relleno uniforme. Una vez llena

la columna, se taponan el otro extremo y se dobla dándole forma según el tipo de cromatógrafo utilizado.

Para purgar la columna se hace pasar gas de arrastre, se desconecta del detector y comienza a calentarse lentamente hasta una temperatura de 80°C , la cual se mantiene por espacio de nueve horas, luego se calienta a temperatura máxima 150°C , durante dos horas. Después de este procedimiento, la columna queda lista para utilizarse en el análisis cromatográfico.

E. DETERMINACION DE ALMIDON

El método se basa en la medida de la rotación específica del almidón (49, 52).

1. Reactivos

Acido clorhídrico concentrado (densidad 1.18)

Acido clorhídrico al 12 %

Acido fosfotúngstico al 5 %

2. Aparatos

Polarímetro marca Hilger-Watts

3. Método

1. Digestión: a 10 gr de muestra se agregan 10 ml de agua destilada

y 20 ml de ácido clorhídrico concentrado, se tritura en un mortero, se deja en reposo por 30 minutos y se pasa todo el contenido a un matraz volumétrico de 100 ml.

2. Clarificación: al matraz anterior se añaden 5 ml de ácido fosfotúngstico al 5 % y se completa a volumen con ácido clorhídrico del 12 %. Se agita, se centrifuga, el sobrenadante se transfiere a un tubo de 20 ml y se lee en el polarímetro a la luz amarilla del sodio.

3. Cálculos:

$$\% \text{ de Almidón} = \frac{100 \times P \times 100}{2 \times 202 \times \text{peso de la muestra gr}}$$

P = Rotación angular de la muestra en grados.

2 = Longitud de la capa líquida en decímetros.

202 = Poder rotatorio específico del almidón.

F. DETERMINACION DE AZUCARES TOTALES

El método se basa en el poder reductor que algunos azúcares ejercen sobre las soluciones alcalinas de cobre.

1. Reactivos

Etanol del 80 %

Carbonato de calcio

Acetato de plomo neutro al 10 %

Acetato de potasio al 5 %

Acido clorhídrico (densidad 1.18)

Hidróxido de sodio al 36 %

Soluciones 1 y 2 de Fehling

Azul de metileno al 1 %

2. Aparatos

Liofilizador marca Virtis, modelo 10-145 MR-BA

Termostato

3. Método

1. Liofilización: la muestra se tritura finamente en un mortero, se coloca en una caja de petri, se pesa y se liofiliza a las siguientes condiciones: vacío: 100 micrones de presión de Hg; temperatura del condensador móvil: -55°C ; temperatura de congelación del anaquel: -40°C durante 4 horas y $+25^{\circ}\text{C}$ por espacio de 24 horas. Al finalizar el proceso la caja y su contenido son pesados nuevamente para determinar el porcentaje de humedad de la muestra. El producto liofilizado es empacado en bolsas de polietileno y guardado en un desecador.
2. Extracción (24): se pesan 0.3 gr de banana liofilizado, se añade etanol del 80 % y 1-2 gr de carbonato de calcio, se agita y se calienta la mezcla durante seis horas en estado de ebullición, luego se decanta y el líquido sobrenadante se filtra a través de papel. El residuo es reextraído con etanol del 80 % durante una hora, se vuelve a filtrar, se combinan los dos extractos y se

evapora hasta reducir el volumen a 10 ml aproximadamente. Al residuo de la extracción se agrega una pequeña cantidad de alcohol y se somete a la prueba de Fehling, para comprobar si la extracción de los azúcares ha sido completa.

3. Clarificación (24): al extracto se agrega 1 ml de acetato de plomo neutro al 10 %, se deja decantar media hora y se filtra el precipitado plomo-proteína. El exceso de plomo es precipitado con 3 ml de oxalato de potasio al 5 % y se remueve por filtración.
4. Inversión de la sacarosa (49): se agregan 5 ml de ácido clorhídrico (densidad 1.18) al filtrado, se agita y se coloca el matraz en un termostato a 70°C durante 15 minutos. Transcurrido este tiempo se enfría y se neutraliza la acidez con hidróxido de sodio al 36 %. La solución se transfiere a un matraz volumétrico de 50 ml y se lleva a volumen con agua destilada.
Este proceso se realiza igualmente con el patrón de glucosa pesando 0.1 gr.
5. Titulación (21, 52): sobre un erlenmeyer se vierte con una pipeta 2 ml de cada una de las soluciones 1 y 2 de Fehling y se diluye con 10 ml de agua destilada. Desde una bureta se añaden 5 ml de la solución azucarada y se lleva a ebullición sobre una malla de asbesto durante 2 minutos. Se agrega 1 ml de azul de metileno al 1 % y manteniendo siempre en ebullición el líquido, se deja caer más solución azucarada, hasta completar la titulación lo cual debe lograrse en un minuto. En el punto final desaparece la coloración azul del indicador, la precipitación roja brillante de

óxido cuproso es completa y el líquido adquiere una coloración naranja.

6. Cálculos:

$$\% \text{ de Azúcar} = \frac{\text{peso patrón} \times V_p \times (100 - \% \text{ de humedad})}{\text{peso muestra liofilizada} \times V_m}$$

V_p = ml de solución de azúcar empleados en la titulación del patrón.

V_m = ml de solución de azúcar empleados en la titulación de la muestra.

Este porcentaje constituye los gramos de azúcar total en 100 gr de muestra fresca.