

PRE-ENFRIAMIENTO POR AIRE FORZADO Y VELOCIDAD
DE ENFRIAMIENTO EN BANANO (Musa sp.)

BIBLIOTECA WILSON POPENO
ESCUELA AGRICOLA PANAMERICANA
APARTADO 98
TEGUIGALPA HONDURAS

P O R

Alvaro Santiago Suárez Tobías

TESIS

PRESENTADA A LA

ESCUELA AGRICOLA PANAMERICANA

COMO REQUISITO PREVIO A LA OBTENCION

DEL TITULO DE

INGENIERO AGRONOMO

EL ZAMORANO, HONDURAS

Julio, 1993

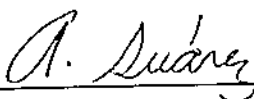
7459
Kaltz R.

PRE-ENFRIAMIENTO POR AIRE FORZADO
Y LA VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO EN
BANANO (*Musa sp.*)

POR
Alvaro Santiago Suárez Tobar

BIBLIOTECA WILSON POPENO
ESCUELA AGRÍCOLA PANAMERICANA
APARTADO 93
TESUCIGALPA HONDURAS

El autor concede a la Escuela Agrícola Panamericana
permiso para reproducir y distribuir copias de este
trabajo para los usos que considere necesarios.
Para otras personas y otros fines se reservan
los derechos de autor.



Alvaro Santiago Suárez Tobar

Julio - 1993

RECONOCIMIENTO

Deseo expresar mi sincero reconocimiento por su valiosa colaboración, asistencia y espontaneidad al siguiente personal de la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola. Sin ellos me hubiera resultado difícil realizar las investigaciones contenidas en este trabajo.

- Dr. A. Martínez Director de la FHIA
- Dr. H.E. Ostmark Director de Investigación
- Dr. E. Buchner Jefe de la Unidad de Diversificación
- Dr. A. Rafie Jefe de la Unidad de Bio-estadística
- Dr. A. Medlicott Jefe de la Unidad de Post-cosecha
- A todo el personal de post-cosecha.

Y en la Escuela Agrícola Panamericana agradecer al Ing Odilo Duarte y al Dr. Alfredo Montes por su valiosa colaboración.

TABLA DE CONTENIDO

I. INTRODUCCION	1
II. REVISION DE LITERATURA	4
A. Pre-Enfriamiento	4
B. Cantidad de Enfriado	5
C. Pérdida de Humedad	7
D. Respiración	10
E. Etileno	13
F. Almacenamiento en Atmósfera Modificada y Controlada	14
G. Métodos de Pre-enfriado	16
1. Enfriamiento por Aire	16
2. Enfriamiento por Agua Fría	17
3. Enfriamiento al Vacío	17
4. Enfriamiento por Hielo de Contacto	18
H. Enfriamiento por Aire Forzado	18
1. Factores de Enfriamiento en Aire Forzado	21
a) Condensación de la Humedad	21
b) Velocidad de Enfriamiento	22
c) Midiendo la Capacidad del Enfriador	22
d) Resistencia al Flujo del Aire	24
e) Contenedores (Cajas, Recipientes o Envases) para el Enfriamiento con Aire-Forzado	26

f) Agujeros de Ventilación de las Cajas	26
g) Colocación de las Estibas	28
I. Generalidades sobre Banano	30
1. Cosecha	30
2. Tratamiento de la Zona de Corte de la mano.	31
a) Uso de Fungicidas	31
J. Empaque	32
1. Materiales de Empaque	34
a) Cajas de Cartón	34
b) Plásticos	35
III. MATERIALES Y METODOS	37
A. Fase Uno	37
1. Objetivo	37
2. Materiales	38
3. Método	38
B. Fase Dos	41
1. Objetivo	41
2. Materiales	41
3. Método	41
C. Fase Tres	42
1. Objetivo	42
2. Materiales	42
3. Método	43

D. Curvas de Enfriamiento	43
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	44
A. Fase Uno: Modificación de un Cuarto Frío Estándar en una Unidad de Enfriamiento por Aire Forzado . . .	44
1. Enfriamiento del "Pallet"	44
2. Comparando la Velocidad de Enfriamiento en Diferentes Niveles del "Pallet"	47
a) Enfriamiento con Aire Normal	47
b) Enfriamiento con Aire Forzado, Dirigido en el "Pallet" de Arriba Hacia Abajo	50
c) Enfriamiento con Aire Forzado Dirigido en el "Pallet" de Abajo Hacia Arriba	53
3. Análisis de Peso	56
B. Fase Dos: Evaluación de Empacado en Atmósfera Modificada usado en Exportaciones de Banano sobre Tiempos de Enfriamiento Usando Pre-Enfriamiento con Aire Forzado	57
1. Análisis del Porcentaje de Pérdida de Peso	62

C: Fase Tres: Evaluación de las Tasas de Enfriamiento en Bananos Empacados en Atmósfera Modificada con Ventilación Vertical Adicional de las Cajas . .	63
1. Análisis de Porcentaje de Pérdida de Peso	68
D. Generalidades	69
E. Uso Práctico del Sistema de Aire Forzado . . .	69
1. Problemas Potenciales y Requerimientos . .	70
V. CONCLUSIONES	71
VI. RECOMENDACIONES	72
VII. RESUMEN	73
VIII. BIBLIOGRAFIA	76

I. INTRODUCCION.

La magnitud de la pérdida de productos frescos como frutas y hortalizas se estima en 5-25% para países desarrollados y 20-25% para países en desarrollo, dependiendo del producto (Montes, 1992).

El objetivo de todo productor, es reducir las pérdidas y tratar de sacar al mercado un producto de primera calidad que satisfaga las necesidades del consumidor. Las frutas y hortalizas, desde el momento de cosecha, están sometidas a un continuo deterioro o pérdida de calidad y el éxito en la comercialización dependerá de la reducción del mismo. Según Montes (1992), para esto se debe entender el comportamiento biológico y el ambiente involucrado en el deterioro y el uso de técnicas de post-cosecha para retardar la senescencia y mantener la mejor calidad. Este control debe empezar desde el inicio del cultivo, realizando las labores culturales respectivas como: control de malezas, plagas, enfermedades; fertilizaciones; buen manejo del producto durante la cosecha, evitando maltratos que producen magulladuras y heridas. Se debe considerar la hora del día en que se cosechará (horas más frescas), la temperatura inicial del producto será menor, un pre-enfriado rápido y adecuadas condiciones de almacenamiento

en post-cosecha.

Uno de los procesos más importantes de post-cosecha es el pre-enfriamiento de la fruta antes del empaque y almacenamiento. Existen diferentes tipos de pre-enfriamiento como son:

- Enfriamiento por aire
- Enfriamiento por aire forzado
- Enfriamiento por agua
- Enfriamiento al vacío
- Enfriamiento con hielo de contacto.

Estos requieren condiciones y estructuras específicas para cada caso. La selección del método de pre-enfriado según Montes (1993), depende de tres factores:

- La temperatura de campo y la requerida para almacenamiento del producto
- La fisiología del producto
- La vida de almacenamiento esperada

Todas las frutas y legumbres deben pre-enfriarse a una temperatura lo más cerca posible a la temperatura de almacenamiento y una humedad relativa adecuadas (Medlicott y Salgado, 1992).

El estudio se concentró en enfriamiento por aire forzado basado en los siguientes principios y problemas frecuentemente encontrados en el manejo de post-cosecha y la calidad de la fruta:

- La mayoría de los pequeños productores de fruta fresca y hortalizas no tienen equipo de pre-enfriamiento especializado, aunque algunos pueden tener instalaciones de almacenamiento frío. Esto reduce el tiempo de almacenamiento y la calidad de los productos. Los estudios fueron llevados a cabo para modificar un cuarto frío estándar en una unidad de enfriamiento por aire forzado. El trabajo fue llevado a cabo con bananos, pero éste procedimiento es aplicable a la mayoría de frutas y hortalizas que se pre-enfríen con aire forzado.
- Los productos que son exportados empacados con atmósfera modificada, como los bananos y melones 'cantaloupe', han mostrado el desarrollo de problemas con maduración durante el tránsito o desarrollo fungoso. Esto ha sido atribuido al largo tiempo de enfriamiento, en que la fruta es empacada caliente y hay desarrollo de condensación y saturación de humedad en las bolsas (Medlicott, Comunicación personal). Los estudios fueron realizados para determinar el efecto de dos tipos de bolsa para atmósfera modificada sobre la velocidad de enfriamiento en banano.
- Los bananos no son pre-enfriados antes de cargarlos en el barco o en los contenedores. El enfriamiento es llevado a cabo con ventilación desde el fondo hacia la parte superior de las estibas de las cajas de cartón. El aire frío pasa por el fondo y por la parte inferior de la caja. En otros productos como cítricos, donde el mismo sistema de enfriamiento puede ser

usado, las cajas tienen orificios de ventilación adicional en la parte superior y en las esquinas del fondo de la caja para proveer una ventilación adicional. Se realizaron algunos estudios para determinar los efectos de orificios de ventilación adicional en la velocidad de enfriamiento de los bananos empacados en dos tipos de bolsa para atmósfera modificada.

II. REVISION DE LITERATURA.

A. Pre-Enfriamiento.

La extracción del calor mediante el proceso de enfriamiento a una temperatura encomendada de almacenamiento y humedad relativa es necesaria para mantener la calidad de los productos. Un producto que viene del campo, al estar expuesto al calor ambiente por exposición directa o indirecta al sol, trae consigo calor, llamado calor de campo que si se le deja, termina deteriorándolo. Entre más rápido se le extrae ese calor de campo, más vida de almacenamiento y anaquel se le proporciona al producto, así su calidad es mantenida por más tiempo (Medlicott y Salgado, 1992).

Debe tenerse cuidado de no permitir que los productos vuelvan a calentarse después del pre-enfriamiento. La condensación en las superficies de los productos enfriados a temperaturas más altas también aumenta la descomposición. Si la temperatura y la humedad relativa no se mantienen después del pre-enfriamiento, la calidad del producto se deteriora (Mc Gregor, 1987).

Todos los productos deben ser pre-enfriados lo más cerca

posible a la temperatura y humedad relativa de almacenamiento recomendadas (Mc Gregor, 1987).

Se considera que con el pre-enfriado se obtienen los siguientes beneficios:

- Se extrae el calor de campo
- Se reduce el ritmo de maduración
- Se retrasa el inicio de la producción de etileno
- Al reducir la respiración, se reduce el calor generado por el producto
- Se reduce bastante la pérdida de agua (marchitamiento o encogimiento)
- Se retrasa cambios que perjudican la naturaleza de producto (fermentación, etc.) (Medlicott y Salgado, 1992).

B. Cantidad de Enfriado.

La mayoría de productos tropicales y subtropicales son sensibles a daños por frío y debe tenerse cuidado de no pre-enfriar o almacenarlos a temperaturas menores de las recomendadas (Cuadro 1) (Mc Gregor, 1987). Los síntomas de daño por frío pueden incluir: superficie de la piel picada, inhibición de la maduración, decoloración de la pulpa,

reducción del sabor e incremento de susceptibilidad a la invasión de microorganismos (Proctor, 1983).

La cantidad de enfriado depende de cuatro factores:

- Cantidad de calor transferido del producto al medio de enfriado, que depende de la forma y el tamaño
- Diferencia de temperatura entre el producto y el medio de enfriado
- Acceso del medio de enfriado al producto
- Velocidad de circulación del medio de enfriado.

La capacidad de enfriado se expresa como coeficiente de enfriado o tiempo medio de enfriado, el cual viene a ser el tiempo requerido para reducir la diferencia entre el medio de enfriado y el producto a la mitad (Montes, 1991).

Los bananos y otras frutas tropicales son muy sensibles a las temperaturas si se comparan con otras frutas, la reducción de ésta, disminuye su actividad biológica. No soporta períodos prolongados a temperaturas inferiores de 12° a 13°C o superiores a 28°C . En el primer caso se provoca un quemado en la cutícula con pérdida de calidad y en el segundo caso se inicia una maduración prematura de la fruta con la pérdida total (Soto, 1990).

Los equipos de refrigeración, tanto de los lugares de almacenamiento como de los transportes, han sido diseñados no para extraer el calor de campo de los productos agrícolas sino para mantener la temperatura. Además algunos no aumentan ni

controlan la humedad relativa, tan esencial como la temperatura misma (Mc Gregor, 1987).

Cuadro 1. Productos sensibles al daño por frío cuando son almacenados a temperaturas bajas moderadas pero no congelantes.

Producto	Temperatura aproximada baja segura (°C)
Banano verde o maduro	11.5-13
Sandía	7-8
Melones:	
Cantaloups	2-5
Honey Dew	7-10
Piña	7-10
Mango	10-13
Pepino	7

Extraído de Hardenburg y otros, 1896.

C. Pérdida de Humedad.

Durante el pre-enfriamiento o almacenamiento de productos mantenidos a alta humedad relativa, que es normalmente requerida, las frutas y hortalizas pierden agua constantemente

al medio ambiente (Cuadro 2). Después de la cosecha ésta no puede ser reemplazada y la pérdida de peso empieza a ocurrir. Esto reduce la apariencia y la aceptabilidad del consumidor y una baja en el precio del producto, pudiendo incrementarse la susceptibilidad a las infecciones.

Las pérdidas de agua producidas son a causa del gradiente de vapor del agua entre la saturación interna atmosférica del producto y la baja saturación externa atmosférica. La velocidad del movimiento del agua es controlada por la diferencia de presión del vapor entre la fruta y el medio ambiente, la cual es gobernada por la temperatura y la humedad relativa. Los productos a 25°C y 30% de H.R. perderán agua 36 veces más rápido que a 0°C y 90% de H.R.; la velocidad del aire juega un papel significativo en la pérdida de agua (Proctor, 1983).

El aire que circula dentro de un cuarto frío no debe estar ni demasiado seco ni demasiado húmedo. El aire con un elevado contenido de humedad puede causar la condensación de humedad en la superficie de los productos. Si esta condición se extrema, se desarrollarán mohos en estas superficies aún a la temperatura normal de refrigeración. Por otra parte si el aire está demasiado seco, provocará la pérdida excesiva de humedad de los productos. La mayoría de los productos se conservan bien cuando la humedad relativa del aire está entre 85 y 90% (Photer, 1978).

El contenido de agua es un factor muy importante en las frutas frescas (la mayoría de frutas y hortalizas tienen un contenido de agua de 80-95%) por lo que se encogen, marchitan y pierden peso. El banano contiene un 80% de agua y una relación superficie externa/volumen muy elevada que provoca una mayor tendencia a la deshidratación; la reducción de esas pérdidas de humedad, sólo se obtiene con procesos de empaque, transporte y almacenamiento eficiente.

La pérdida de humedad es un factor crítico en el manejo de post-cosecha para el mercado fresco de frutas y vegetales, algunos productos son más susceptibles a la pérdida de humedad que otros (Lutz y Hardenburg, 1968, citados por Hackert et al., 1987).

La diferencia de temperatura entre un producto que no ha sido pre-enfriado y los serpentines de evaporación de las unidades de refrigeración, hace que aumente la pérdida de agua de este.

Cuadro 2 Tasa de pérdida de humedad de los productos

Alta	Mediana	Baja
Brócoli	Banano	Gengibre
Fresa	Tomate	Melón
Uva	Aguacate	Manzana

(Mc Gregor, 1987).

C. Respiración.

El proceso por el cual las reservas son metabolizadas con la producción de CO_2 y energía se llamada respiración. La energía que no es requerida para mantener el proceso de vida es liberada en forma de calor. El calor producido depende de varios factores incluyendo el tipo de fruta o vegetal, el cultivar, el estado de maduración, la presencia de heridas y la temperatura del producto (Cuadro 3).

La temperatura de un producto es un factor determinante de la velocidad de deterioro por descomposición, senescencia y consecuentemente en el potencial de vida de mercado. La producción de calor es crítica desde el momento de cosecha cuando los procesos de deterioro comienzan; el retraso en el

enfriamiento puede causar un daño irreversible. El enfriamiento y el almacenaje en frío no mejoraran la calidad del producto, tan solo ayudan a mantenerla (Proctor, 1983).

El banano como fruta fresca presenta una serie de características básicas que deben considerarse en el transporte y almacenamiento. Es una fruta climatérica de acuerdo a las definiciones de Baile y Young (1962) y Duckworth (1968), citados por Soto, 1990. Es decir que se cosecha verde y duro y luego mediante procesos bioquímicos posteriores madura y envejece. Las condiciones que se dan en el período anterior a la maduración o preclimatérico, son de gran trascendencia en el mercado de los bananos. Estos deben transportarse y almacenarse verdes y duros por el mayor tiempo posible a fin de facilitar la comercialización. Esto se consigue controlando los mecanismos que inician el proceso de maduración. La respiración, es el proceso que más incide en ello, y ha sido demostrado por varios autores, que la temperatura juega un papel determinante en la intensidad respiratoria de esta fruta. Game (19XX) (citado por Deullin, 1960), demostró que la respiración del banano se multiplica por 2,5 cuando la temperatura se eleva 10°C. Es por esto que es necesario alargar el período preclimatérico, enfriada la fruta entre 12 y 13°C en el menor tiempo posible después de cosechada, a fin de reducir su actividad biológica. El mismo autor asegura que cuando la temperatura en la fruta baja de

28° a 15°C, la respiración se reduce en 1/6 (Soto, 1990). La tasa de respiración y maduración aumentan de 2 a 3 veces por cada 10°C (18°F) sobre la temperatura de almacenamiento recomendada (Mc Gregor, 1987).

Los mecanismos que producen heridas, como rasguños, daños por vibración, cortes, etc., aceleran la actividad respiratoria y a menudo la producción de etileno. La temperatura tiene influencia directa en la susceptibilidad de la fruta a la producción de heridas (Proctor, 1983).

Si no se pre-enfría inmediatamente es necesario colocar los productos en la sombra. Entre más pronto se pre-enfría el producto y se coloca a la temperatura de almacenamiento recomendada, más se garantiza la calidad por un tiempo prolongado (Medlicott y Salgado, 1992).

Cuadro 3. Tasa de respiración de productos, expresado en tasas de producción de dióxido de carbono (mg/kg/h^{-1}), en varias temperaturas.

Productos	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)					
	0C	4-5C	10C	15-16C	20-21C	25-27C
Espárrago	27-80	55-136	90-304	150-327	275-500	-600
Banano:						
Verde	--	--	--	21-23	33-35	--
Madura	--	--	21-39	25-75	33-142	50-245
Melón:						
Cantaloupe	5-6	9-10	14-16	34-39	45-65	62-71
Honey Dew	--	3-5	7-9	12-16	20-27	26-35
Sandía	--	3-4	6-9	--	17-25	--

Extraído de Hardenburg y otros, 1986.

E. Etileno.

La velocidad de emisión y la acción del etileno, dependen de la temperatura. El máximo efecto de la acción del etileno ocurre entre 17°C y 20°C . El gas etileno en adición a los efectos de la maduración puede afectar a las frutas climatéricas, no climatéricas y hortalizas, a través de la

descomposición de la clorofila; lo que produce el desarrollo de desórdenes fisiológicos.

El etileno puede causar la maduración prematura de algunos productos y arruinar otros, tales como plantas y flores cortadas. Pueden usarse almohadillas de permanganato de potasio para absorber el etileno durante el tránsito y el almacenamiento. Tampoco deben mezclarse productos sensibles al etileno con aquellos que no lo son (Cuadro 4) (Mc Gregor, 1987).

Los bananos durante el transporte y el almacenamiento producen etileno y son particularmente sensibles a la concentración de este gas, que activa los mecanismos de maduración con acción irreversible, a dosis tan bajas como un cienmilésimo en volumen (Soto, 1990).

Esta circunstancia imposibilita el transporte de bananos verdes con otras frutas como manzanas, peras, tomates, y otros vegetales que liberan etileno. Durante esta etapa se hace necesario eliminar dicho gas (Deullin, 1960; citado por Soto, 1990).

Cuadro 4. Alguno productos que son productores o sensibles al etileno

Productores de etileno	Sensibles al etileno
Banano, en proceso de maduración	Arveja
Mango	Banano verde
Melón dulce	Brócoli
Papaya	Pepino.
Plátano	Pimiento
	Sandía

(Mc Gregor, 1987).

F. Almacenamiento en atmósfera modificada y controlada.

La atmósfera modificada o atmósfera controlada significan extracción o adición de gases resultando en una composición atmosférica alrededor del producto que difiere del aire (78.08% N₂, 20.95% O₂, 0.03% CO₂). Esto involucra reducción del oxígeno (O₂) y/o elevación de la concentración del dióxido de carbono (CO₂). La atmósfera modificada y la atmósfera controlada solo difieren en el grado de control. La atmósfera controlada es más exacta (Kader et al, 1985). Las concentraciones de O₂

y CO_2 son controladas entre $\pm 1\%$ de las requeridas (Lipton y Ryall, 1983).

El almacenamiento en atmósfera modificada se refiere al producto en una atmósfera que es diferente del aire pero no controlada precisamente. La atmósfera que rodea al producto almacenado empacado en una lámina plástica es un ejemplo. La composición de esta atmósfera esta determinada por varios factores: la tasa de respiración del producto, alguna adición de mezcla de gases al empaque, la permeabilidad de la lámina, la temperatura de almacenamiento y la estrechura del envase (Hardenburg et al, 1986).

Investigaciones recientes han demostrado que:

- La atmósfera controlada o modificada beneficia a pocos productos
 - Ciertos productos pueden tolerar una atmósfera a solo una temperatura
 - Ciertos productos pueden tolerar una modificación en la atmósfera por un tiempo limitado
 - Frutas y hortalizas con larga vida de almacenamiento al aire, a menudo no obtienen beneficios durante períodos de corto tránsito
 - En algunos productos como cerezas, fresas y bananos, una atmósfera modificada reduce la actividad de organismos que producen deterioro (Nicholas, 1985)
- Los plátanos y bananos son los principales alimentos

básicos en muchos países tropicales siendo también destinados para el mercado de exportación. La extensión de sus vidas de almacenamiento al ambiente

(23-33°C) y temperaturas bajas utilizando bolsas transparentes

selladas o polvo de fibra de coco húmedo fue demostrado por Thompson et al., 1974b, (citado por Coursey, 1976). La maduración se retrasó significativamente pero no se impidió. La fruta tratada también mantuvo una buena apariencia comparada con los testigos los cuales se encongieron y se tornaron negras debida a la pérdida de agua. El retraso en la maduración pudo haber sido influenciado por la atmósfera modificada producida alrededor de las frutas. El movimiento limitado de gas a través de polietileno conduce a una disminución de oxígeno y a una acumulación de dióxido de carbón dentro de las bolsas (Hall, Hardenburgh y Pantastico, 1975; citados por Coursey, 1976).

G. Métodos de Pre-enfriado.

1. Enfriamiento Por Aire.

El enfriamiento por aire, se realiza en cuartos

refrigerados donde se ponen los productos empacados y se mantiene una humedad relativa alta ya sea por nebulizaciones, aspersiones o humedeciendo el piso del cuarto. Este método es lento, puede durar de 24 a 72 horas dependiendo del producto y el tipo de caja (Medlicott y Salgado, 1992).

2. Enfriamiento Por Agua Fría.

Este método requiere empaques especiales como jabas de madera unidas con alambres, cajas enceradas o de material plástico que no les afecte la humedad. Las cajas se sumergen en posas de agua helada o bien son bañadas desde arriba y los lados por chorros de agua helada mientras pasan sobre una banda sin fin. Normalmente en media hora el producto ya está pre-enfriado (Medlicott y Salgado, 1992).

3. Enfriamiento al Vacío.

Se necesita de una cámara especial donde se produce vacío rápido y baja temperatura que elimina eficientemente el calor de campo. Existen cámaras pequeñas que pueden ser transportadas a los campos para pre-enfriar inmediatamente a medida que se va cosechando (Medlicott y Salgado, 1992).

El enfriamiento al hidrovacío es la misma técnica del método anterior, solamente que se agrega humedad al producto empacado ya sea antes o durante el proceso de vacío. Esto acelera la extracción de calor que trae el campo (Medlicott y Salgado, 1992).

4. Enfriamiento Por Hielo de Contacto.

Lo que se hace aquí es que a los empaques, (bolsas de polietileno, cajas plásticas o de madera) se les pone hielo en pequeños trozos o aguanieve. Se hace lo mismo con productos que se transportan a granel. El brócoli y las zanahorias se transportan utilizando este sistema de enfriado (Medlicott y Salgado, 1992).

H. Enfriamiento Por Aire Forzado.

El primer enfriador por aire forzado, se construyó en California en 1955, y fue usado para enfriar uvas destinadas a los mercados de Florida. Desde entonces la técnica ha ido creciendo hasta llegar a ser el primer método de enfriamiento de productos hortícolas enviados desde California (Watkins,

1990).

Los productos pueden ser enfriados rápidamente por aire si este tiene acceso a la fruta. Esto se puede llevar a cabo por exposición del producto en un envase ventilado al aire y a la alta presión. El aire forzado pasa dentro del envase por el producto, tomando el calor se éste. El método de enfriamiento por aire forzado es usualmente 4 a 10 veces más rápido que un cuarto de enfriamiento. El enfriamiento por agua a al vacío es usualmente 2 a 23 veces más rápido que el enfriamiento por aire forzado (Ryall y Pentzer, 1982).

Los productos pueden ser enfriados rápidamente por una diferencia de presión de aire producida entre las caras opuestas de bultos de contenedores ventilados. Esta diferencia de presión, fuerza el aire a través de los bultos, pasando dentro del producto. Un contacto entre el producto y el rápido movimiento del aire frío remueve el calor rápidamente (Watkins, 1990).

Los cuartos tradicionales de enfriamiento, donde el aire fluye principalmente fuera de las paredes del contenedor con una pequeña cantidad de aire que fluye directamente a través del contenedor, daba bajo y desigual enfriamiento. El producto es enfriado principalmente por baja conductividad de calor a través de las paredes del contenedor y por un movimiento de aire sin proyectar dentro del contenedor (Watkins, 1990).

El enfriamiento por aire forzado consiste en el

establecimiento de una succión del aire el cual pasa por los espacios entre las estibas de cajas o cajones y entre los agujeros de ventilación de los mismos. El proceso dura de 1 a 4 horas (Medlicott y Salgado, 1992).

El enfriamiento por aire forzado ofrece una solución para frutas frescas, hortalizas y flores de corte que no pueden ser hidrogenenfriadas o no son adaptables al enfriamiento al vacío. Es efectivo para la mayoría de productos, pero es especialmente usado para fresa, uva, melón, tomate y algunas veces para chile y coliflor. Cuando las fresas son estibadas en bandejas en "pallets" con los orificios de ventilación opuestos en cada bandeja, estas pueden ser enfriadas desde 24°C a 4°C en una hora y cuarto usando 0.5°C de temperatura del aire (Hardenburg y otros, 1986).

Experimentos hechos con ventilación positiva en diez especies de hortalizas con tasas de aire promediando desde 0.1 a 2.5 kg por hora por kg de producto. Mostraron que los tiempos tomados para alcanzar la temperatura media en la cima de las cajas variaron desde dos y un cuarto hasta siete horas dependiendo del tamaño y estructura del producto. Los cajones con coliflor positivamente ventilados fueron enfriados en 10 horas en vez de 56 cuando solo se llevaban al cuarto frío. Las hortalizas empacadas en cajas se estibarón en "pallets" y fueron ventiladas positivamente, las cajas tenían conductos de ventilación y se estibarón en "pallets" formando un cuadrado

hueco al centro, tapando la parte superior del mismo. De esta manera el aire frío entró por la base del "pallet" hacia el centro del mismo y luego horizontalmente a través del producto vía orificios en los lados de las cajas.

Los tiempos de temperatura media fueron reducidos de esta manera de 43 horas para estibas sólidas no ventiladas de lechuga en el mismo almacén a ocho horas y media (Hawkins y otros, 1978).

El enfriamiento rápido con aire depende de:

- Un cuarto frío diseñado con una capacidad adecuada de refrigeración
- Movimiento rápido de aire alrededor o dentro de los contenedores de producto
- Aperturas adecuadas o ventosas que permitan remover con facilidad el calor del producto por medio de la corriente de aire.

Con frecuencia el movimiento del aire en cuartos fríos es demasiado lento o los contenedores están colocados demasiado juntos, por lo tanto el producto en el centro de una estiba puede tardar hasta tres días en enfriarse (Kasmire y Parsons, 1974).

Una manera de acelerar el enfriamiento es forzar el aire frío a pasar a través de los contenedores (envases o cajas) con una unidad de ventilación. Los contenedores deben de poseer orificios de ventilación o aperturas, para que por lo

menos el 4% del área lateral esté abierta para que permita un movimiento adecuado de aire a través de ellas. Materiales de empaque tales como; envolturas, bandejas, colchones, bolsas y forros, también interfieren con el flujo del aire y retrasan drásticamente el enfriamiento (Kasmire y Parsons, 1974).

1. Factores de Enfriamiento en Aire Forzado.

a) Condensación de la humedad.

Cuando las frutas y hortalizas son colocadas en un cuarto frío, aquellas que están junto a las paredes se enfrían más rápido que las colocadas en el centro. El aire húmedo caliente del producto central puede ser acarreado por convección dentro del contenedor para encontrarse con las paredes frías y con el producto frío junto a las paredes, entonces la humedad se condensará en estos productos y en las paredes (Watkins, 1990).

Si la caja es de cartón, esta condensación debilitará las paredes. La humedad condensada en el producto puede atraer problemas de hongos. Durante el enfriamiento por aire forzado, el movimiento positivo del aire es siempre desde el producto frío al producto caliente y nunca al contrario. La humedad no

puede condensarse bajo estas condiciones (Watkins, 1990).

b) Velocidad de Enfriamiento.

Durante el enfriamiento con aire forzado, la tasa de enfriamiento depende de la tasa de flujo del aire pasando el producto; entre más rápido es el flujo de aire, más rápido es el enfriamiento. Un ventilador auxiliar es generalmente usado para empujar el aire a través del producto (Watkins, 1990).

Una cantidad de aire dada no logra el mismo índice de enfriamiento para todo el producto. Los productos pequeños y livianos como un hongo tienen una relación alta de superficie a volumen. Los productos grandes y densos tienen una relación baja de superficie a volumen como los melones (Watkins, 1990).

c) Midiendo la Capacidad del Enfriador.

El desempeño de cualquier operación de enfriado, es expresado como "tiempo medio de enfriamiento". Este es el tiempo que tarda el producto para que se enfríe a la mitad de la diferencia entre la temperatura inicial de la pulpa y la temperatura fijada del cuarto. Suponga que el promedio de la temperatura de la pulpa del producto para ser enfriado es de 30°C y se pone en un cuarto que esta fijado a una temperatura de 4°C . La diferencia inicial de temperatura será: $30^{\circ}\text{C}-$

$4^{\circ}\text{C}=26^{\circ}\text{C}$, la mitad de esta diferencia es 13°C . El tiempo medio de enfriamiento (llámelo y horas) será el que tarde la temperatura del producto para descender 13°C . Cuando ya esta medio enfriado, la temperatura del producto será: $30^{\circ}\text{C}-13^{\circ}\text{C}=17^{\circ}\text{C}$ ($t_{1/2}$); la diferencia de temperatura restante es: $17^{\circ}\text{C}-4^{\circ}\text{C}=13^{\circ}\text{C}$, la mitad de esta diferencia es 6.5°C . En un intervalo de tiempo adicional de y horas la temperatura descenderá otros 6.5°C . La temperatura de la pulpa ahora será: $17^{\circ}\text{C}-6.5^{\circ}\text{C}=10.5^{\circ}\text{C}$ ($t_{3/4}$). El producto esta ahora $3/4$ enfriado, la temperatura de la pulpa ha descendido $3/4$ de la diferencia entre la temperatura inicial de la pulpa y la temperatura fijada del cuarto. La diferencia de temperatura restante es: $10.5^{\circ}\text{C}-4^{\circ}\text{C}=6.5^{\circ}\text{C}$, la mitad de esta diferencia es 3.25°C . En un tercer intervalo de tiempo de y horas, la temperatura descenderá otros 3.25°C . La temperatura de la pulpa ahora será: $10.5^{\circ}\text{C}-3.25^{\circ}\text{C}=7.25^{\circ}\text{C}$ ($t_{7/8}$). El producto ahora se ha enfriado $7/8$. El tiempo requerido para alcanzar esta temperatura es tres veces el tiempo para alcanzar el tiempo medio de enfriamiento, es decir $3 \times y$ horas. Una curva típica de enfriamiento es mostrada en la figura 1, donde el tiempo medio de enfriamiento es 3 horas. El tiempo de $7/8$ de enfriamiento será $3 \times 3 = 9$ horas (Watkins, 1990).

Cuando el enfriamiento prosigue, la tasa de enfriamiento va disminuyendo. A medida que el producto se acerca a la temperatura fijada del cuarto, los siguientes intervalos de

tiempos dan resultados pequeños. Para una operación de enfriamiento de aire-forzado, el tiempo de enfriamiento de 7/8 es logrado en un tiempo razonable, un segundo enfriamiento se vuelve menos económico (Watkins, 1990).

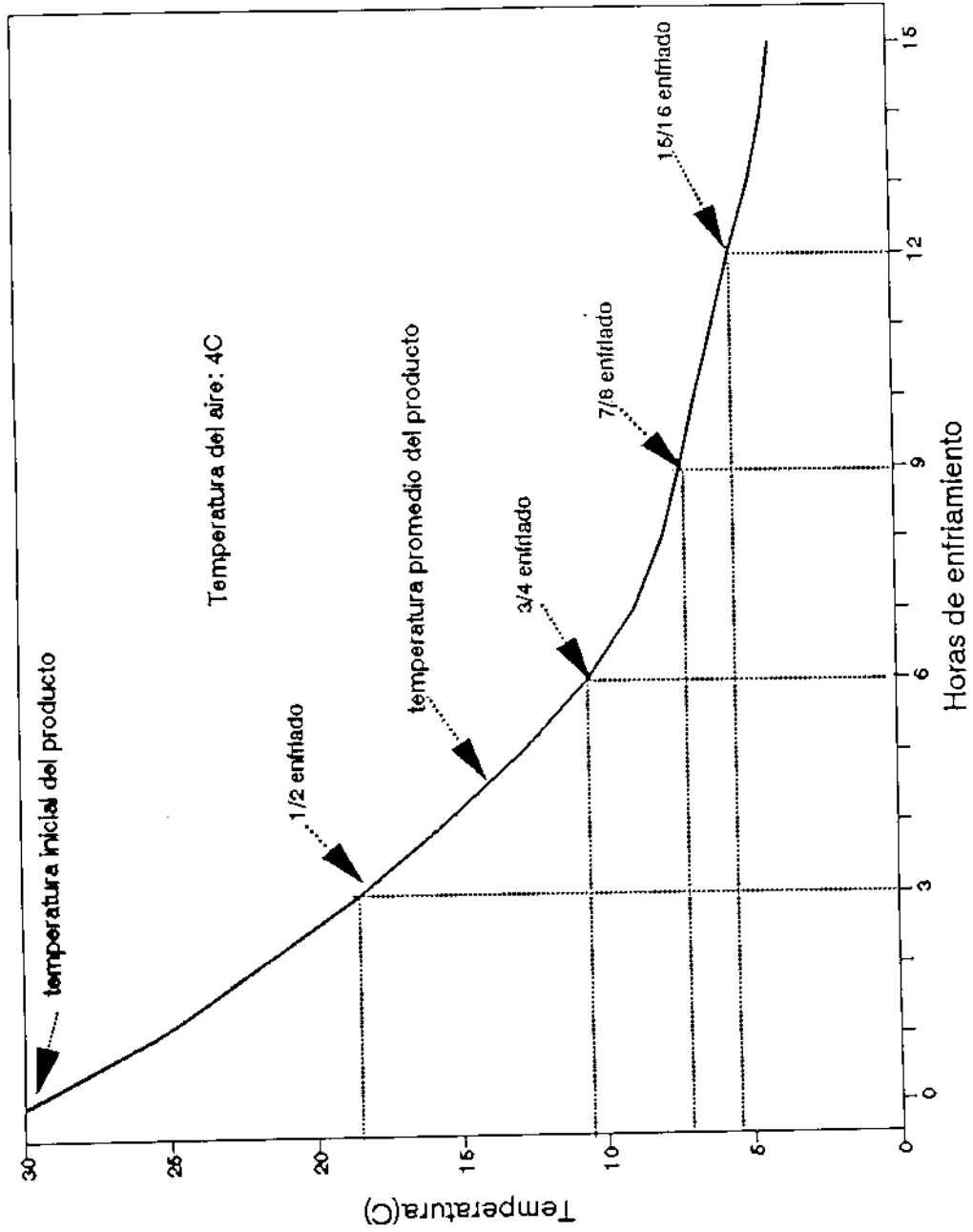
d) Resistencia al Flujo del Aire.

El aire que pasa a través de los empaques del producto o cajones encuentra alguna resistencia. La resistencia total depende de:

- La tasa de flujo del aire
- El número de cajas en línea cruzadas en la estiba
- La naturaleza del producto.

Esta resistencia, la cual deberá vencer para forzar una cantidad de aire a pasar a través de la estiba, es llamada "cabeza estática" y esta expresada como milímetros de agua. La parte superior donde el aire entra tiene mayor presión que la cara inferior de la estiba. Esta diferencia de presión es la cabeza estática (Watkins, 1990).

Figura 1. Curva de enfriamiento



e) Contenedores (Cajas, Recipientes o Envases) Para el Enfriamiento con Aire-Forzado.

Cualquier tipo de caja ventilada para admitir aire puede ser enfriado mediante aire-forzado, cuando son estibadas en hileras del ancho de una caja. Para las estibas mayores que el ancho de una caja, los conductos deberán ser alineados para permitir el flujo del aire a través de contenedores cruzando la estiba.

Recientemente las cajas desarrolladas incluyen cajas de ocho capas y bandejas ventiladas (con agujeros) para enfriamiento con aire-forzado de cajas estibadas sobre "pallets". Las con bandejas tienen dos agujeros de ventilación en los extremos y tres a los lados. Los contenedores de esponja de polietileno y cajones retornables tienen patrones de ventilación que permiten el enfriamiento con aire-forzado ya sea en las columnas de estibas o las columnas cruzadas (Watkins, 1990).

f) Agujeros de Ventilación de las Cajas.

En cajas con volumen lleno, utilizadas para frutas grandes y para la mayoría de hortalizas, la resistencia principal al flujo del aire ocurre en los agujeros de las cajas. El área total para el paso de aire

dentro de la caja excede por mucho el área ventilada del orificio. El área total de los agujeros deberá ser por lo menos 4% del área de la cara que esta agujereada. Aumentar el área de estos agujeros es beneficioso hasta el punto donde la fuerza de la caja empieza a sufrir.

Los productos pequeños densamente empacadas tales como las uvas, o las mercaderías que casi bloquean enteramente los conductos de aire. Por ejemplo maíz dulce empacado a través de los agujeros de ventilación, y la lechuga empacada bien apretada, pueden ofrecer una considerable resistencia agregada al flujo de aire.

Esta resistencia se puede reducir incluyendo agujeros de ventilación a lo largo de la orilla superior de la cara ventilada. Esto permite que el flujo del aire pueda pasar por encima del producto, bajando la resistencia y creando turbulencia dentro de la caja. El flujo del aire turbulento es efectivo para remover calor.

Los orificios o ranuras de ventilación alargados son preferibles a los agujeros redondos. Los agujeros son fácilmente bloqueados por producto redondo. Las ranuras deberán ser lo más anchas posibles dentro de los límites de la fuerza deseada del empaque. Las ranuras anchas minimizan la reducción del área de la ranura de ventilación si los paquetes están desarreglados a lo ancho de la estiba en estibas de más del ancho de una caja.

Las cajas de cartón provistas con facilidades de enganche son ideales para enfriamiento con aire forzado; el enganche previene el "no alineado" durante la estiba.

Donde las aberturas horizontales son a lo largo de la orilla superior de una caja, la caja también deberá tener ventilación en la base o a lo largo del fondo de la caja.

Paquetes de poliestireno con la parte superior abierta son de esta manera ventilados, con las ranuras de ventilación a lo largo del borde superior e inferior y en la base. Las cajas retornables tienen la orilla superior y la base ventiladas (Watkins, 1990).

g) Colocación de las Estibas.

Las filas paralelas en pares de los contenedores - estibados en un contenedor con hileras, múltiples hileras o "palletizado" - son separados por un canal cubierto de aire retornable. Este método es llamado túnel de enfriamiento.

El aire del cuarto frío es halado a través de las estibas hacia el canal retornable por un ventilador adicional el cual descarga aire ya sea vía "plenum" o directamente hacia al cuarto frío. El "plenum" es simplemente una cámara que aloja un ventilador auxiliar y permite un retorno más directo del aire caliente a las unidades de enfriamiento de arriba. Los "plenums" pequeños pueden ser contruidos como unidades

móviles. Los "plenums" mas grandes son generalmente fijos.

La unidad de enfriado de aire forzado (FDC), puede ser utilizada en vez de un ventilador auxiliar para mover el aire a través de los contenedores donde la cantidad total de aire requerido se aproxima a la tasa de flujo en el FDC y la cabeza estática es baja (0 a 7.5 mm). El "plenum" parcial es formado arreglando dos "pallets" verticales, del piso al techo, desde la unidad de FDC a la pared posterior. El "plenum" lleno es formado cuando las filas paralelas en pares de contenedores son colocadas en esta posición. Una alta cabeza estática con este diseño reducirá excesivamente la tasa de flujo a través de FDC, reduciendo la capacidad de refrigeración y bajando la humedad del cuarto.

Un sistema donde el flujo del aire pasa a través de las estibas y es descargado directamente en el "plenum", es llamado enfriamiento de pared helada. Esto elimina la necesidad de canales que suplan y retornen aire, pero limita el área de enfriamiento una línea de "pallet" profundo cruzando al final o a lo largo del lado en el cuarto frío. Este sistema es conveniente para enfriar un limitado número pares e impares de "pallets" (Watkins, 1990).

Hay otro sistema llamado "enfriamiento por serpentín" usado para enfriar productos en cajones teniendo ventilación en el suelo. Los cajones son estibados uno tras otro y uno arriba del otro contra el "plenum". Los canales de aire

retornado formados por rieles de cajones se tornan en canales de suplir y retornar. Los canales suplidores son cerrados al final del "plenum" por la pared del "plenun" pero son abiertos en el lado final opuesto. A la inversa, los canales de retorno del aire son cerrados por las parte de afuera pero abiertos dentro del "plenum". El lado exterior es cerrado con un toldo. En cuartos fríos el aire entra en los canales suplidores y fluye hacia arriba a través de la caja superior y hacia abajo a través de la caja inferior para entrar al "plenum" vía canales de retorno (Watkins, 1990).

El departamento de Agricultura de Victoria-Australia ha desarrollado un sistema de serpentín usando un "plenun" movable colocado cruzado centralmente en un cuarto frío existente. El "plenum" es movido a su lugar después que los cajones han sido estibados. Uno o mas ventiladores auxiliares colocados encima de la cámara halan el aire a través de los cajones para descargar en una corriente de aire frío arriba (Watkins, 1990).

BIBLIOTECA WILSON PAPEROS
ESCUELA AGRICOLA PANAMERICANA
APARTADO 93
TEGUICUALPA HONDURAS

I. Generalidades Sobre Banano.

1. Cosecha.

En el cultivo de banano bajo óptimas condiciones toma cerca de nueve meses desde la plantación a la cosecha; este período puede extenderse hasta dieciocho meses dependiendo del clima, cultivar y prácticas culturales. Desde la floración hasta la cosecha toma de 85 a 95 días bajo condiciones favorables y más de 120 días en malas condiciones; en el subtrópico esto podría ser más largo. Los bananos son cosechados verdes (inmaduros), y son madurados en el área de mercado. El peso del racimo de bananas tiene un mayor incremento en las últimas dos o tres semanas y el corte debe ser lo más cercano a esto, pero un racimo muy maduro es vulnerable en el transporte (Desai y Salunkhe, 1984). El estado de maduración en que son cosechados los bananos depende del tiempo requerido para llegar al mercado. Las frutas embarcadas desde América Central a Europa son usualmente menos maduras que otras embarcadas hacia América del Norte (Kader, 1992).

Para exportación cuando no hay buen control de la edad, el racimo se debe cortar en una etapa conocida como "tres cuartos lleno", cuando los dedos están todavía casi angulares.

La etapa inmediata es llamada "Tres cuartos alta" o "Tres cuartos pesado", esta etapa es preferible cuando el viaje no es largo. Hay algunos desacuerdos en el uso de estos términos y depende mucho de experiencia local. Hay varios criterios físicos y químicos como: gravedad específica, angularidad, proporción pulpa/cáscara, tiempo después de la emergencia de la inflorescencia, relación azúcar-ácido, firmeza y el total del contenido de clorofila (Desai y Salunkhe, 1984).

2. Tratamiento de la Zona de Corte de la Mano.

La pudrición de esta zona, es uno de los factores más significativos en la calidad de la fruta mercadeable y es de mayor consideración para los mercados lejanos, donde la fruta debe almacenarse por largo tiempo, antes de su maduración y consumo.

a) Uso de Fungicidas.

El uso de fungicidas en los cortes, es vital para prevenir la pudrición de la zona de desmane. Los fungicidas más usados son: 2-4(4-Triazolyl) Benzimidazole (Thiabendazole), conocido con el nombre de mercado como TBZ, "Mertec" o "Mertec Flowable", que se formula como polvo

soluble a concentraciones de 40, 60 y 90 por ciento; o como suspensión, con una concentración de producto activo, del 41.8 por ciento. Otro fungicida de uso es Imazalil. Para evitar el derrame de látex en los cortes después del lavado de la fruta, se recomienda aplicar una sustancia astringente, que cierre los vasos conductores de látex; el producto más recomendado es el sulfato de aluminio, conocido con el nombre comercial de alumbre. Este producto se formula en cristales solubles de un 100 por ciento de concentración de producto activo. La concentración de la solución de los fungicidas a aplicar en los cortes, depende de la distancia a los mercados y del período de almacenamiento antes de la maduración y el consumo (Soto, 1990).

J. Empaque.

El objetivo del empaque de los productos, es proteger su calidad durante el transporte, manejo y almacenamiento, para que llegue a los mercados en las mejores condiciones posibles de presentación y con las menores pérdidas (Soto, 1990).

Desde el inicio de la actividad bananera, hasta el principio de la década de los años 60, la fruta se exportó a los principales mercados en

racimos (Soto, 1990). Con la sustitución en Centroamérica del clon 'Gros Michel' (de alta resistencia al manejo), por los clones del subgrupo 'Cavendish', se hicieron cambios en el sistema de transporte y mercadeo y con ello, en el empaque de la fruta (Soto, 1990). En Israel, se determinó que el efecto de la envoltura plástica en bananos del clon 'Dwarf Cavendish', causaban una ampliación de 5 a 15 días del período de almacenamiento, reduciendo la pérdida de peso de un 25 a un 50 por ciento y también disminuían la descomposición de la fruta, con mejora en la apariencia de la cáscara (Ben-Yehoshua, 1966; citado por Soto, 1990).

Deullin, citado por Champion (1968), ha señalado que es conveniente emplear una funda de plástico con pequeños agujeros para evitar pérdida de peso. Champion (1968) dice que los racimos de clon 'Valery' deben empacarse en tubos de polietileno de 3 a 4 centésimas de milímetro de espesor, que tienen por objeto evitar el frotamiento entre ellos; y que el plástico debe ser perforado para facilitar los cambios gaseosos y sobre todo la eliminación de vapor de agua (citado por Soto, 1990).

En Nueva Gales (Australia), la fruta se lavaba con agua antes de empacarla, con el fin de disminuir la temperatura y limpiar la fruta (Robinson y Walsh, 1964; Loebel, 1974. Citado por Soto, 1990). La técnica de empacar racimos divididos en manos e incluso en frutos sueltos en cajas de madera o cartón,

es originaria de Australia (Simmonds, 1973; citado por Soto, 1990).

Parte de la producción de Australia y las Islas del Pacífico, suplía de fruta a Nueva Zelanda, pero problemas de mercado y competencia con Ecuador, hizo necesario aumentar la calidad, por lo que se desarrolló una mejor producción, con mejoras en el tipo de empaque, cambiando las cajas de madera de difícil manejo por las de cartón (Jones, 1977; citado por Soto, 1990).

1. Materiales de Empaque.

a) Cajas de Cartón.

El diseño, tamaño y forma de las cajas, obedece a las necesidades de los mercados y a los patrones de embarque que se recomiendan para cada calidad. Las cajas más corrientes son para el empaque de 12, 14 y 18 kilogramos y es la última, la de uso más generalizado. La caja está construida de cartón corrugado de diferentes tipos, según la necesidad de manejo para cada mercado. El cartón es construido con papel "kraft" de diferente resistencia y costo.

La caja está formada por un fondo, a veces con doble pared vertical removible adicional en cajas de pared sencilla;

por una lámina de papel "kraft", que hace las veces de almohadilla, que cubre el fondo y los costados en el sentido de mayor longitud. Y una tapa de tamaño ligeramente superior a la base y que cubre las paredes verticales en su totalidad. Esta caja tiene una resistencia sobre sus paredes verticales de 135 kilogramos, equivalente a 7 cajas llenas de banano, lo que permite estibar 8 cajas sin deformar el cartón ni deterioro de la calidad de la fruta. Todas las cajas tienen sistemas de ventilación, tanto en los fondos como en las tapas, y en paredes verticales, tienen dos agarraderas y cuatro agujeros verticales ubicados en ambos extremos. La ventilación, permite el libre intercambio de gases, enfriamiento y la circulación del etileno para el proceso de maduración (Soto, 1990).

b) Plásticos.

Los plásticos modifican la atmósfera reduciendo los niveles de oxígeno y elevando los de dióxido de carbono, esto se puede usar para varios productos. Se usan en el empaque con el propósito de evitar el rozamiento de la cutícula de los dedos con el cartón que causan lesiones y mala presentación de la fruta en los mercados. Asimismo, los plásticos tienen la función de evitar la pérdida excesiva de humedad de la fruta

durante el transporte y el almacenamiento; por esa razón se usan diferentes materiales de acuerdo al período entre la cosecha y el consumo (Soto, 1990).

He aquí una descripción de dos tipos de materiales plásticos, los que se usaron en el presente trabajo.

- Polibolsa o "Polipack"

Es una bolsa cerrada de polietileno, de 97,8 cm de ancho y 106,7 cm de largo, con un espesor de 127 micras, tiene 4 perforaciones de 12 mm de diámetro, a una altura de 58 cm del fondo. Retiene mucho la humedad, y se usa en frutas para los mercados del norte de Europa, cuando se requiere de un período de transporte y almacenamiento cercano a los 14 días (Soto, 1990).

- "Banavac"

Es una bolsa de las mismas medidas que la polibolsa, pero se diferencia de esa, en que el grueso del polietileno es de 390 micras y no tiene ningún tipo de perforación. Este material, se usa para modificar la atmósfera dentro de la caja, extrayendo el aire después del empaque, mediante una bomba de vacío, hasta que el polietileno se colapse sobre la superficie de los dedos. El empaque con atmósfera modificada se usa para la exportación de fruta a los mercados lejanos, donde el período de transporte

III. MATERIALES Y METODOS.

El ensayo de evaluación de enfriamiento usando aire forzado, fue conducido en el Departamento de Post-cosecha de La Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA), La Lima, Honduras, durante el período comprendido entre el 22 de Enero y el 15 de Abril de 1993. Para los cálculos del tiempo medio de enfriado y el tiempo de siete-octavos de enfriado se usó el promedio de la temperatura inicial de la pulpa y el promedio de la temperatura final de la pulpa, no se usó la temperatura fijada del cuarto ya que ésta no era exacta. El ensayo se dividió en tres fases.

A. Fase Uno.

1. Objetivo.

- Evaluar un sistema de pre-enfriamiento por aire forzado utilizado por pequeños productores de frutas y vegetales.

2. Materiales.

Para la primera fase se emplearon los siguientes materiales:

- 1) 42 cajas de banano de 27 lbs cada una, para el primer ensayo y para las repeticiones dos y tres se usaron 35 cajas de banano de 40 lbs cada una
- 2) Registrado de datos (Squirrel meter/logger; Grant Instruments)
- 3) 13 sondas para medir temperatura
- 4) 1 sonda para medir la Humedad Relativa
- 5) Cuarto frío
- 6) Agua
- 8) Balanza
- 9) Termómetro de bulbo seco y húmedo (Whirling psychometer)
- 10) Láminas plásticas o bolsa plástica grande

3. Método.

El banano para el ensayo fue cosechado el 22 de enero de 1993 y colocado en cajas de 27 lbs para la repetición #1. Para las repeticiones 2 y 3 se usaron cajas de banano de 40 lbs. Cada mano tenía en promedio cinco dedos. La fruta tenía una temperatura inicial promedio de 26°C.

El cuarto frío estaba a 14°C al iniciar la prueba. El "pallet" constaba de 7 niveles, cada nivel con 6 cajas para la repetición uno. Para la repetición dos y tres cada nivel constaba de 5 cajas. En los niveles 2,4 y 6 se colocaron medidores de temperatura de la pulpa los cuales hacían un total de 12, conectados a un registrador de datos (Squirrel meter/logger). El registrador toma datos de temperatura cada 10 minutos promediándolos y almacenándolos cada hora en la memoria; los canales del 1 al 12 medían la temperatura de la pulpa, los canales 13 y 14 la temperatura del aire en el cuarto frío y el canal 16 medía la humedad relativa.

El termómetro de bulbos se utilizó para medir la humedad relativa, este aparato consta de dos termómetros, uno de bulbo seco y otro de bulbo húmedo; de estos se toma la lectura del termómetro seco y la diferencia de los dos (seco y húmedo). Con estos datos se lee en una tabla que proporciona la humedad relativa del ambiente.

• Tratamientos

- . Aire normal

- . Aire forzado dirigido al "pallet" de arriba hacia abajo

- . Aire forzado dirigido de abajo hacia arriba

Los tratamientos se efectuaron a lo largo de 48 horas, utilizando 42 cajas de 27 lbs de banano para la repetición uno

y para la repetición dos y tres se usaron 35 cajas de banano de 40 lbs.

Para evaluar la temperatura de la pulpa se tomó una mano al azar de cuatro cajas en tres niveles (2,4,6) del "pallet" y en un dedo de ella se colocó una termocupla conectada a un registrador de datos. Cada tratamiento se aplicó a un mismo "pallet".

Los tamaños de muestra para peso fueron dos manos tomadas al azar de cada caja. Se tomó el peso inicial de la mano al empacar la fruta en las cajas y el final cuando la fruta había alcanzado una temperatura entre 14-16 C. La humedad relativa del cuarto frío se mantuvo entre 85 y 95%.

Esta fase constó de tres repeticiones. En el tratamiento #2 y #3, se cubrió al "pallet" con una bolsa plástica. En la salida del aire en el cuarto frío se colocó otra bolsa que hacia las veces de un conducto de aire, en el tratamiento #2 el aire forzado fue introducido de arriba hacia abajo del "pallet" y en el tratamiento #3 de abajo hacia arriba del "pallet". Estos fueron comparados con el tratamiento #1, en el cual la fruta estaba en el "pallet" y éste no tenía la bolsa plástica que lo cubría y el aire no estaba dirigido.

La fruta estaba verde y se cambiaba totalmente cuando empezaba a madurar. Las dos manos de cada caja se cambiaban al final de cada tratamiento por manos cosechadas el mismo día de finalización del tratamiento, para determinar la diferencia

porcentual de la pérdida de peso.

- Análisis estadístico

Se usó un diseño completamente al azar de 3 tratamientos con 3 repeticiones de 60 manos cada una.

B. Fase Dos.

1. Objetivo.

- Determinar el efecto del uso de bolsas para atmósfera modificada sobre la velocidad de enfriamiento en banano.

2. Materiales.

Para esta fase se usaron los mismos materiales que se usaron para la fase uno, mas los siguientes:

- 40 bolsas "Polipack".
- 40 bolsas "Banavac".

En esta fase se usaron 35 cajas de banano de 40 lbs cada una.

3. Método.

El mejor sistema de pre-enfriado de la primera fase se sometió a evaluación con los diferentes tipos de empaque, este fue el de enfriamiento con aire forzado de arriba hacia abajo.

Los tratamientos se dejaron por un determinado período, hasta que la fruta alcanzó una temperatura entre 14-16°C en la pulpa. La diferencia porcentual de peso perdido se determinó de la misma manera que en la primera fase. Se mantuvo una humedad relativa de 85-95% en el cuarto frío.

- Tratamientos

- . Empaque sin bolsa
- . Empaque con "Banavac"
- . Empaque con "Polipack"

- Análisis estadístico

Se empleó un diseño completamente al azar de tres tratamientos con tres repeticiones de 60 manos cada una.

C. Fase Tres.

1. Objetivo.

- Determinar el efecto de ventilación adicional en las cajas sobre el tiempo de pre-enfriamiento, comparado con cajas estándares.

2. Materiales.

Se emplearon los mismos materiales que se utilizaron para las fases anteriores.

3. Método.

El mejor tratamiento de la fase uno se sometió a evaluación con los dos tipos de caja. En esta fase se modificaron 17 cajas haciéndoles agujeros adicionales mas 17 cajas sin modificar.

• Tratamientos

- . Caja con ventilación normal
- . Caja con ventilación adicional

Los tratamientos se dejaron hasta que la fruta alcanzó una temperatura entre 14-15°C en la pulpa. La diferencia porcentual de peso perdido se determinó igual que las fases anteriores. Se mantuvo una humedad relativa del cuarto frío de 85-95%.

- Análisis estadístico

Se empleó un diseño completamente al azar de dos tratamientos con tres repeticiones de 60 manos cada una.

D. Curvas de Enfriamiento.

Para cada réplica, los análisis estadísticos fueron llevados a cabo para determinar el comportamiento, ecuación y R^2 , de la curva de enfriamiento. De la ecuación obtenida, fueron calculados los valores de $T_{1/2}$ Y $T_{7/8}$.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION.

A. Fase Uno: Modificación de un cuarto frío estándar en una unidad de pre-enfriamiento por aire forzado.

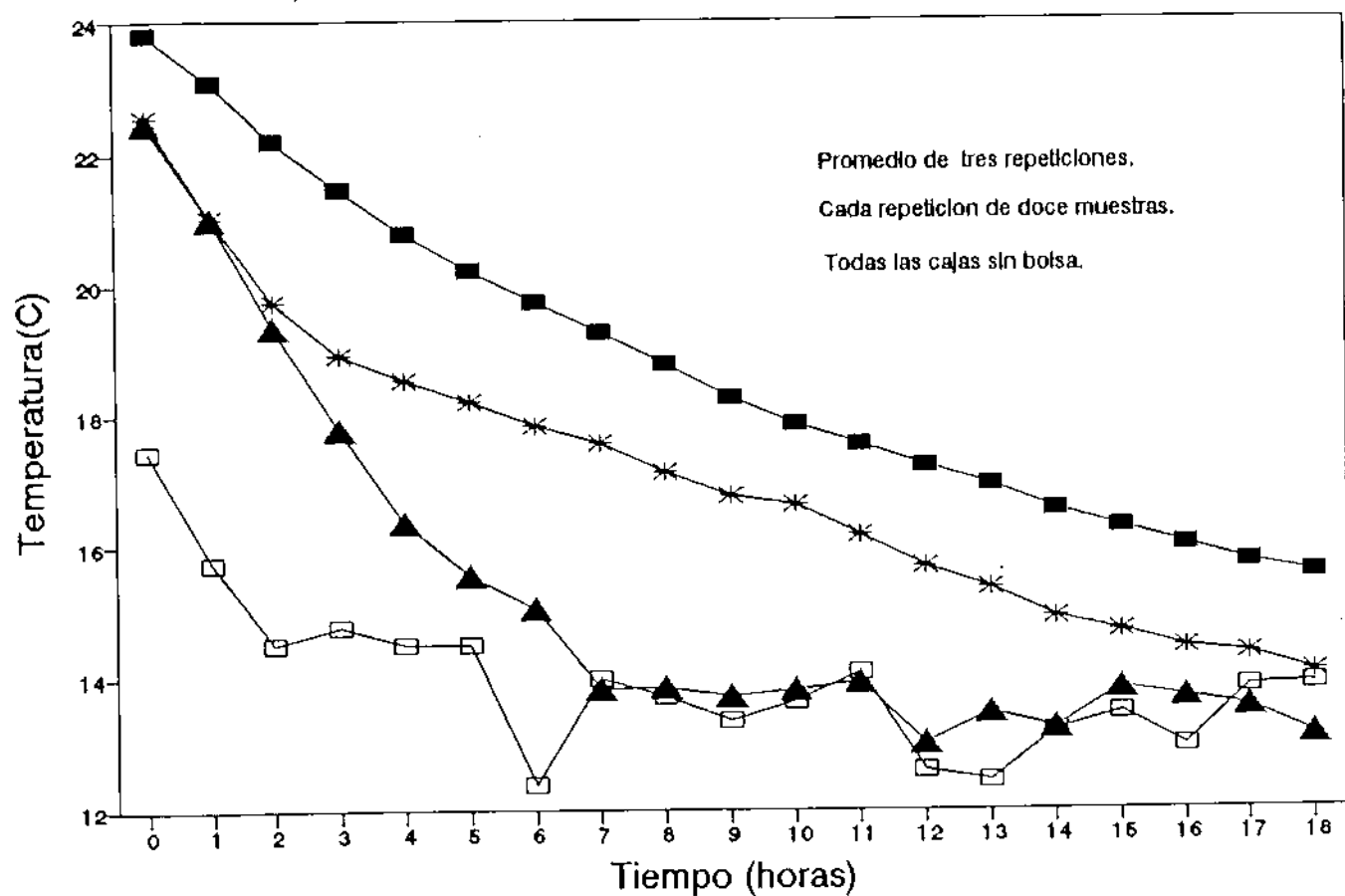
1. Enfriamiento del "Pallet".

En la figura 2 se aprecia el efecto de los promedios de temperaturas de los tres niveles en cada tratamiento. El tratamiento de aire forzado dirigido de arriba hacia abajo es el que tuvo mayor velocidad de enfriamiento; luego el tratamiento de aire forzado dirigido de abajo hacia arriba y el más lento fue el tratamiento de aire normal. En el tratamiento de enfriamiento por aire normal en el cuarto frío estándar, se tuvo un efecto lineal. Mientras que los otros tratamientos: aire forzado dirigido de arriba hacia abajo y aire forzado dirigido de abajo hacia arriba tienen un efecto logarítmico o sea que la curva fue más pronunciada.

Comparando los tiempos de enfriamiento medio ($t_{1/2}$) y el tiempo de enfriamiento a siete-octavos ($t_{7/8}$), se disminuyó el tiempo de enfriado con el sistema modificado de aire forzado

Fig 2. Curvas de pre-enfriamiento de un "pallet" de banano en un cuarto frío normal

en comparación con dos métodos de aire forzado



—■— Aire Normal —▲— Arriba hacia abajo —*— Abajo hacia arriba —□— Aire

(cuadro 6). El tratamiento con aire forzado dirigido de arriba hacia abajo demoró menos en llegar a $t_{1/2}$ y a $t_{7/8}$, luego el tratamiento con aire forzado dirigido de abajo hacia arriba y por último el tratamiento con aire normal.

Las variaciones de la temperatura del aire influyen en el comportamiento de la curva de los tratamientos, especialmente en el aire forzado dirigido de arriba hacia abajo y esto se le atribuye a que la salida del aire del cuarto frío estaba unida a la parte superior del "pallet" por un túnel formado por una bolsa plástica, mientras que en el aire forzado dirigido de abajo hacia arriba, la salida del aire era unida a la parte inferior del "pallet", entonces cuando el cuarto entra en descongelamiento se va a calentar más rápidamente el nivel superior por estar más cerca a la salida del aire.

Cuadro 6 Tiempos medios y siete-octavos de enfriado en banano por sistemas de pre-enfriado con aire forzado.

Tratamientos	Temp _{1/2} (°C)	Temp _{7/8} (°C)	t _{1/2} (hrs)	t _{7/8} (hrs)
Enfriamiento por aire normal	19.7	16.6	8.2	14.9
Aire forzado de arriba hacia abajo	17.9	14.4	2.8	7.8
Aire forzado de abajo hacia arriba	18.8	16.0	3.8	11.4

Cada tratamiento con tres repeticiones y cada repetición con doce muestras.

2. Comparando la Velocidad de Enfriamiento en Diferentes Niveles del "Pallet".

a) Pre-enfriamiento con Aire Normal.

Como se puede ver en la figura 3, el nivel de la carga que tarda menos tiempo en enfriarse es el nivel inferior (2) luego el nivel superior (6) y por último el nivel intermedio (4). Ninguno de estos niveles en 18 horas llegó a la temperatura de almacenamiento recomendada (14°C). Luego de ocho horas se ven diferencias en los niveles 4 y 6.

En la figura 4 se presenta la gráfica de la curva para éste tratamiento con su ecuación y su R^2 , con ésta ecuación se calculó $t_{1/2}$ y $t_{7/8}$, usando la temperatura como variable independiente.

Se tuvieron tres niveles: el 2 (inferior), el 4 (intermedio) y el 6 (superior). El aire frío salía por la parte superior del cuarto de almacenamiento, chocaba contra la pared opuesta y entonces cambiaba de dirección hacia abajo. Al hacer contacto con el piso el aire era dirigido hacia la parte inferior del "pallet", por lo tanto este nivel inferior (2) se enfrió primero. Luego el aire frío chocaba con la pared opuesta y se mantenía circulando alrededor del "pallet", por lo tanto el segundo nivel en enfriarse fue el nivel superior

(6) y por último el nivel intermedio (4) ya que tenía menor área expuesta al aire frío.

b) Pre-enfriamiento con Aire Forzado, Dirigido en el "Pallet" de Arriba Hacia Abajo.

El aire frío era dirigido desde la salida del aire del cuarto de almacenamiento hacia la parte superior del "pallet" (figura 5), en este caso el primer nivel en enfriarse fue el nivel superior (6) luego el intermedio (4) y por último el inferior (2). El nivel 6 llegó a la temperatura de almacenamiento en 6 horas, el nivel 2 en 8 horas y el nivel 4 en 12 horas.

En la figura 6 se muestra la gráfica de la curva con su ecuación y su R^2 , con ésta ecuación se calculó $t_{1/2}$ y $t_{7/8}$, usando la temperatura como variable independiente.

Fig 3. Temperaturas dentro de un "pallet" de banano enfriado en cajas sin bolsa, con enfriamiento en un cuarto normal

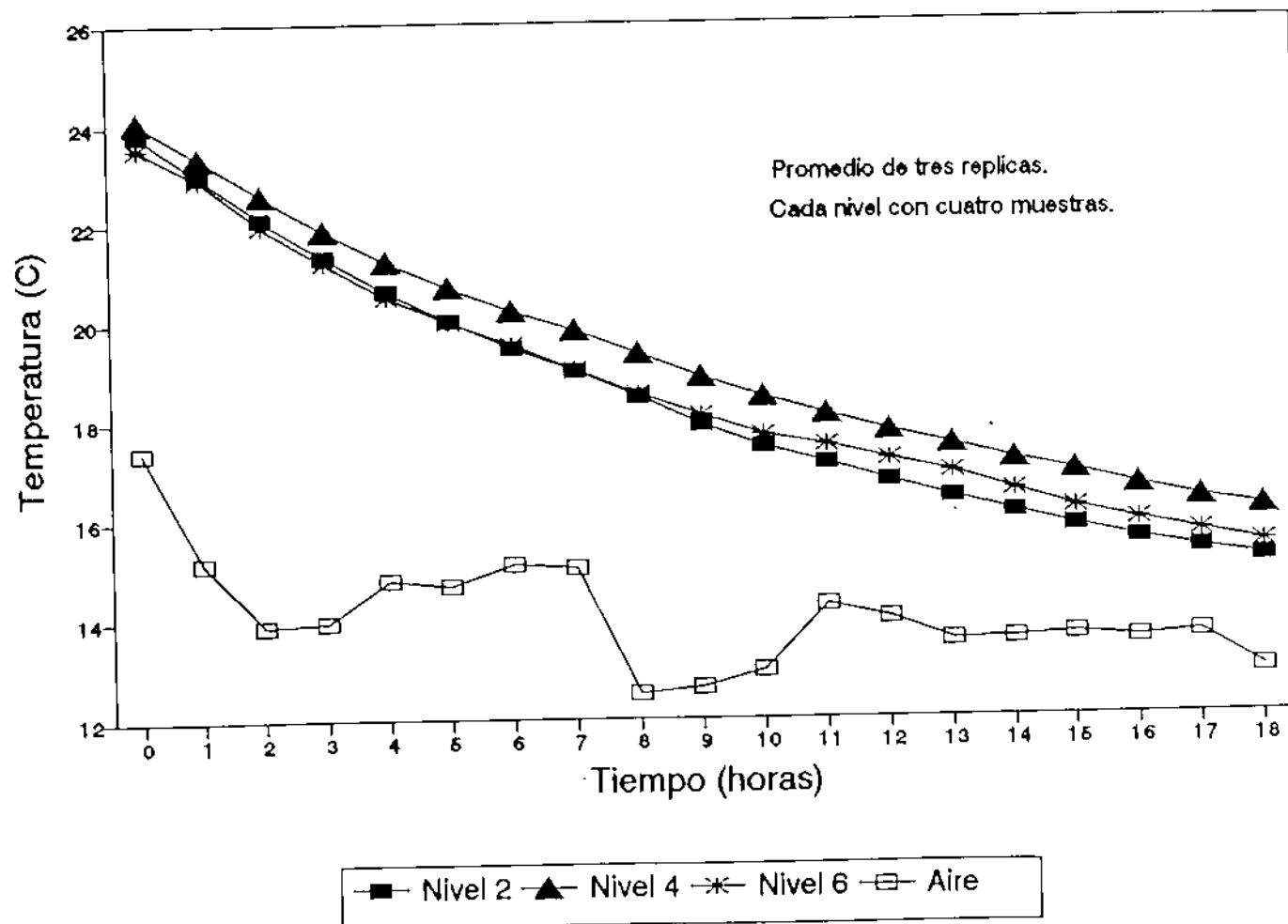


Fig 5. Temperaturas dentro de un "pallet" de banana empacado en cajas sin bolsa, con enfriamiento
con aire forzado de arriba hacia abajo

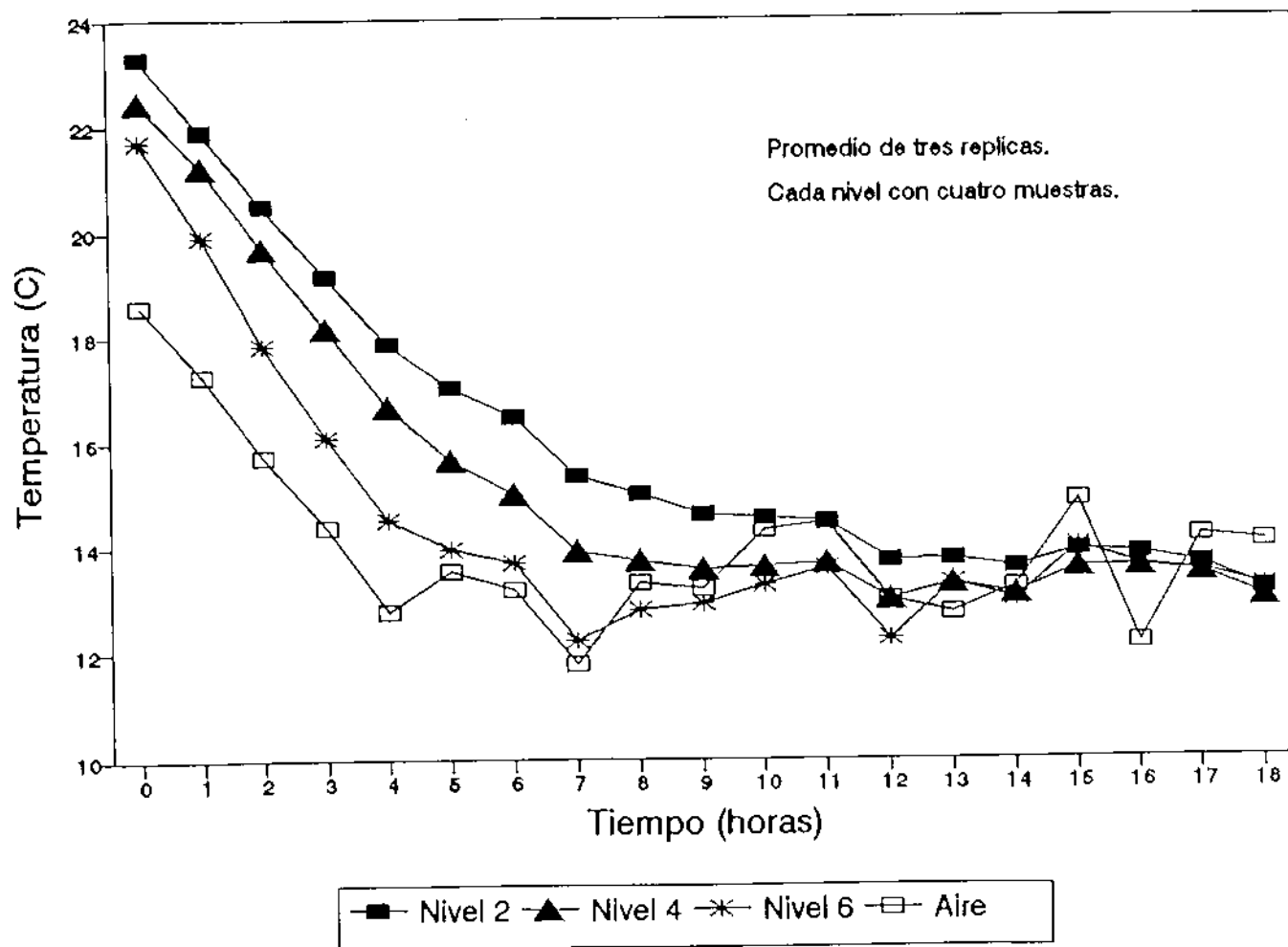
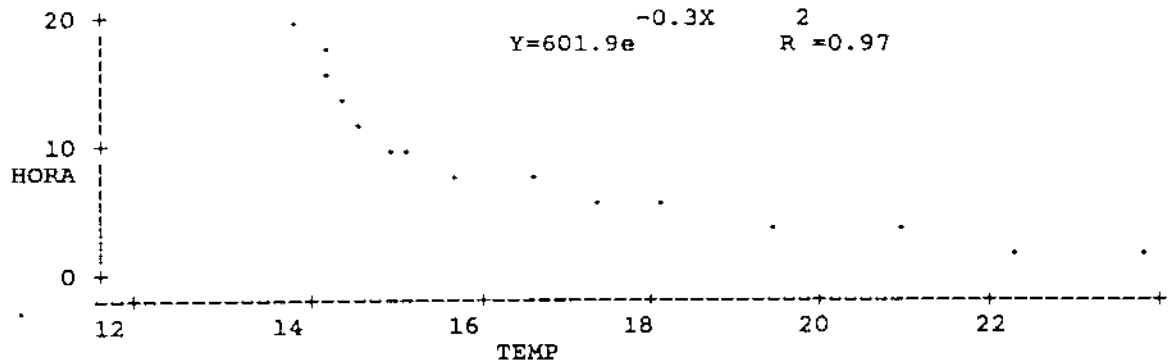
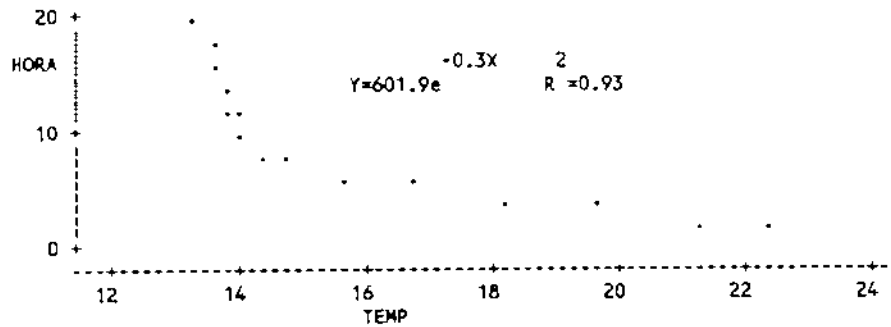


Figura 6. Curvas de temperatura para diferentes niveles dentro de un "pallet" de banano empacado en caja sin bolsa y con enfriamiento con aire forzado de arriba hacia abajo

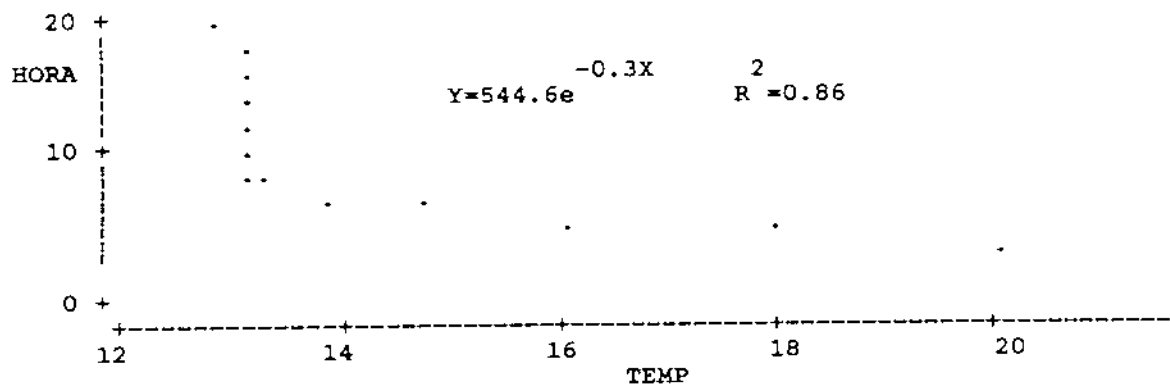
Nivel 2



Nivel 4



Nivel 6



c) Pre-enfriamiento con Aire Forzado Dirigido en el "Pallet" de Abajo Hacia Arriba.

Un túnel formado por una bolsa de polietileno unía la salida del aire frío con la parte inferior del "pallet". En la figura 7 se ve que el primer nivel en enfriarse fue el inferior (2) luego el intermedio (4) y por último el superior (6).

En la figura 8 se muestra la gráfica de la curva con su ecuación y su R^2 , con ésta ecuación se calculó $t_{1/2}$ y $t_{7/8}$, usando temperatura como variable independiente.

Fig 7. Temperaturas dentro de un "pallet" de banano empacado en cajas sin bolsa, con enfriamiento con aire forzado de abajo hacia arriba

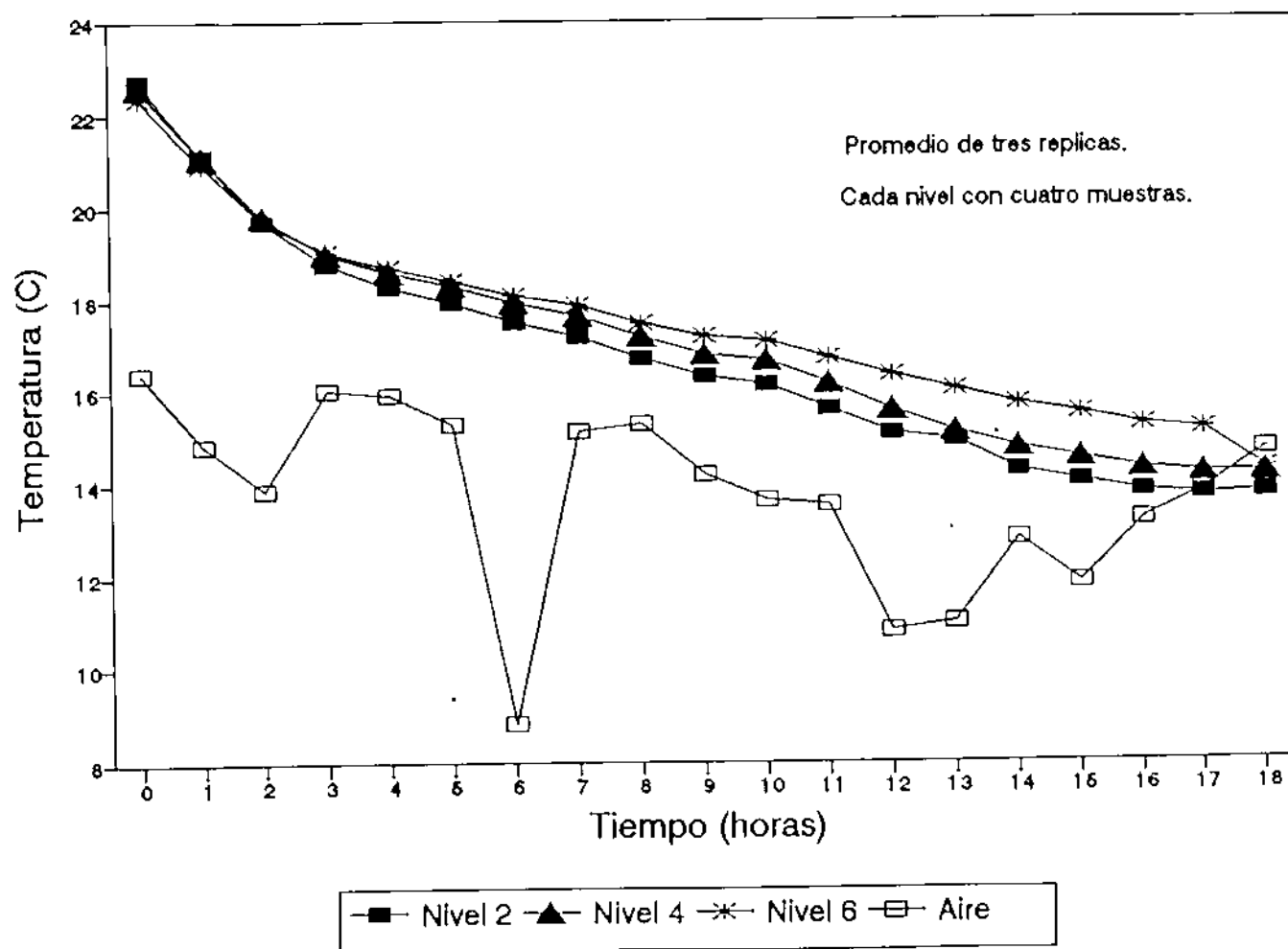
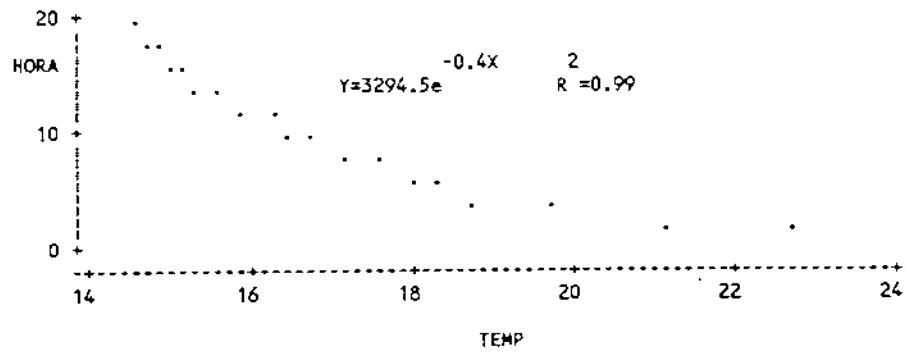
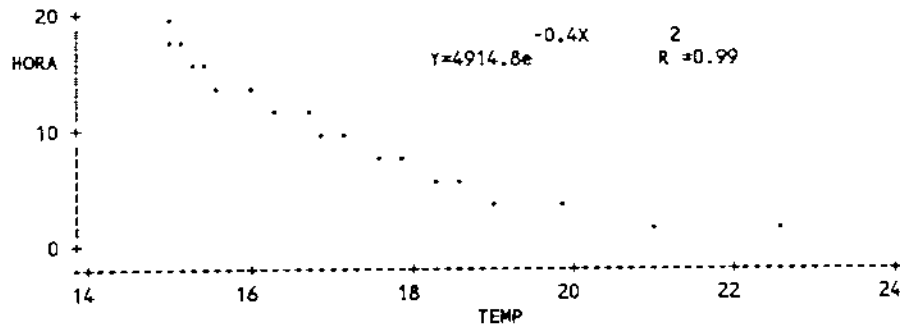


Figura 8. Curvas de temperatura para los diferentes niveles dentro de un "pallet" de banano empacados en cajas sin bolsa con enfriamiento con aire forzado de abajo hacia arriba

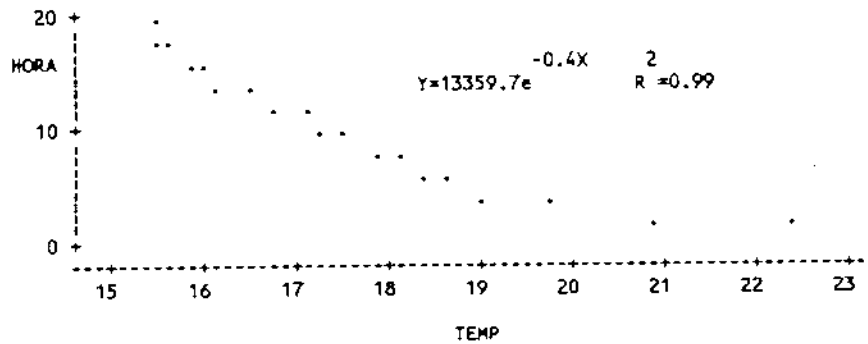
Nivel 2



Nivel 4



Nivel 6



3. Análisis de Peso.

Haciendo la comparación del porcentaje de la pérdida de peso según la prueba Duncan se encontró que no existió una diferencia significativa, entre el enfriamiento por aire normal en el cuarto frío con el aire forzado dirigido de arriba hacia abajo y el aire forzado dirigido de abajo hacia arriba. El porcentaje de la pérdida de peso fue similar en los tres tratamientos, como se puede ver en el cuadro 7, ya que la fruta no estaba empacada en bolsas dentro de la caja.

Cuadro 7. Porcentaje de pérdida de peso, de los tres tratamientos en la fase uno.

Tratamiento	Pérdida de peso (%)
Enfriamiento por aire normal	1.48a
Aire forzado de arriba hacia abajo	1.37a
Aire forzado de abajo hacia arriba	1.29a

Esto es el promedio de 3 repeticiones con 12 muestras cada repetición.

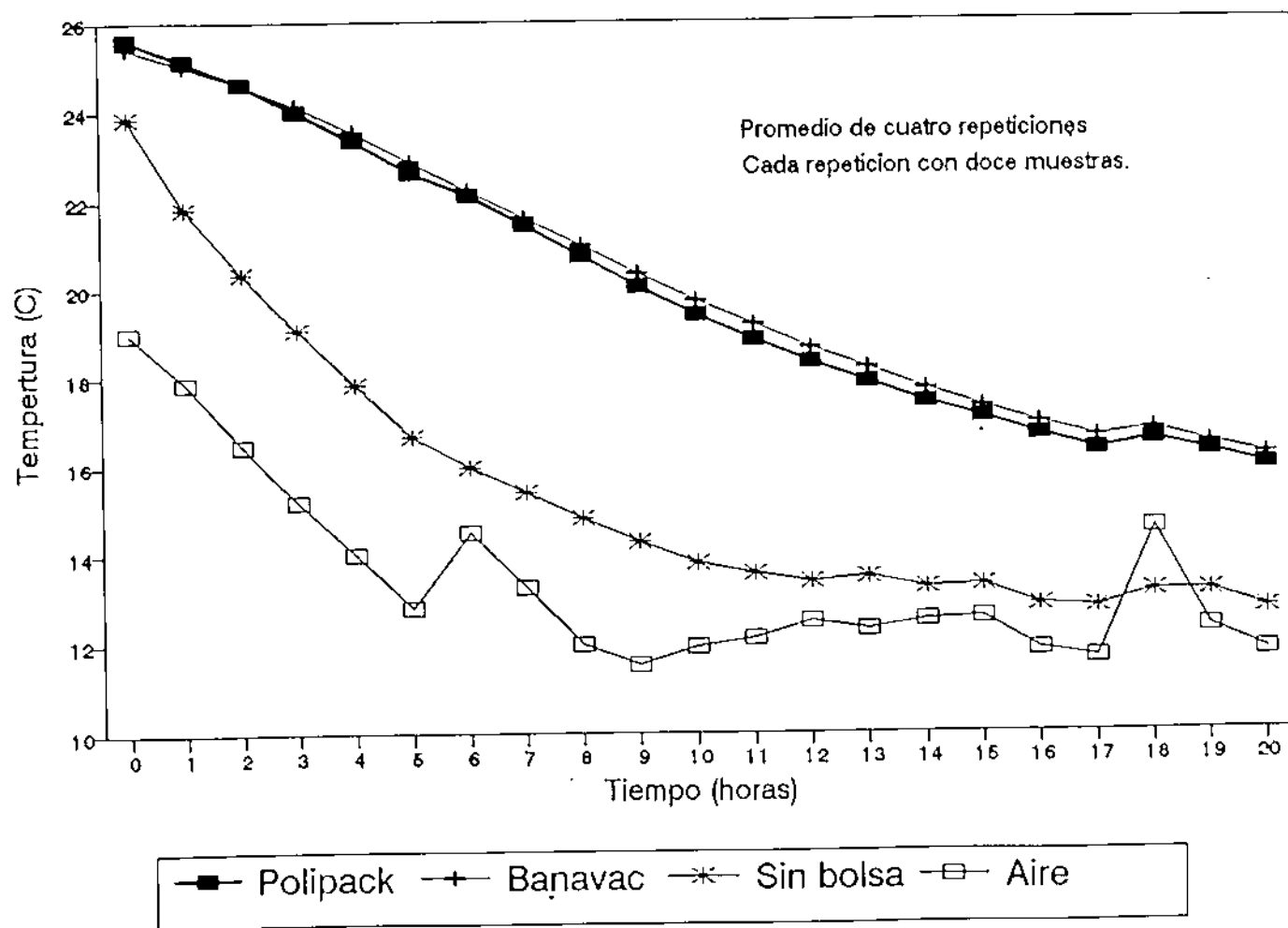
Los números seguidos con las mismas letras no son diferentes (Prueba de rango múltiple de Duncan, $p=0.05$).

B. Fase Dos: Evaluación del empaque en bolsas para atmósfera modificada, usado en exportaciones de banano, sobre los tiempos de enfriamiento usando pre-enfriamiento con aire forzado.

En la figura 9 se ve que el tratamiento con "Polipack" enfrió más rápido que el tratamiento con "Banavac", pero no hubo mucha diferencia en comparación con el testigo, $t_{1/2}=9.85$ con atmósfera modificada y 1.7 sin bolsa (sin AM). El producto sin bolsa tuvo una tendencia logarítmica,

Fig 9. Efectos del empaque en cajas con bolsas para atmosfera modificada en un "pallet" de banano

con pre-enfriamiento con aire forzado



pues descendió rápido la temperatura; las otras dos curvas fueron de tendencia lineal.

Observando los tiempos medios y siete-octavos de enfriamiento (cuadro 8), se ve que "Polipack" llegó 17 minutos antes que "Banavac" a $t_{1/2}$ y 12 minutos antes a $t_{7/8}$.

Cuadro 8 Tiempos medios y siete-octavos de pre-enfriado para banano empacado en atmósfera modificada (AM).

Tratamientos	Modelo	Temp _{1/2} (°C)	Temp _{7/8} (°C)	$t_{1/2}$ (hrs)	$t_{7/8}$ (hrs)
Empacado sin AM	logarítmico	18.3	14.1	1.7	5.8
AM con "Polipack"	lineal	20.7	17.1	9.7	17.1
AM con "Banavac"	lineal	20.7	17.0	10.0	17.3

En la figura 10 se muestra la gráfica de la curva con su ecuación y su R^2 , con ésta ecuación se calculó $t_{1/2}$ y $t_{7/8}$, usando la temperatura como variable independiente.

El empacado con atmósfera modificada redujo significativamente los tiempos de enfriamiento en el sistema de enfriamiento con aire forzado con el flujo de aire dirigido de arriba hacia

abajo del "pallet".

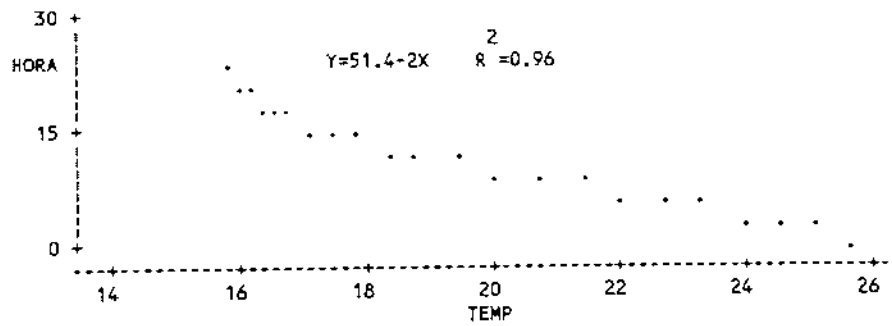
También se ve como afecta el tipo de bolsa, "Polipack" por ser más delgada enfrió más rápido pero solamente un poco, casi no hubo diferencia en las dos curvas y si subió la temperatura del aire también iba a calentar más rápido, ya que "Banavac" es más gruesa y va sellada al vacío.

Las dos bolsas redujeron la velocidad de enfriamiento, esto puede ser importante si la fruta tiene problemas en el transporte como en el caso de fruta cosechada vieja de plantas con Sigatoka, donde la fruta va a madurar más rápido. El retraso en el enfriamiento causado por el empaçado en atmósfera modificada podría tener un efecto significativo sobre el desarrollo de la pudrición de la cáscara y la maduración prematura durante ciertos meses del año.

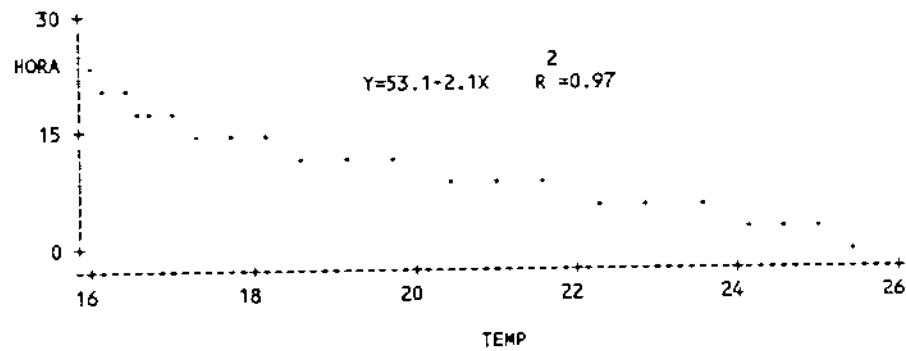
El enfriamiento en el contenedor no remueve rápidamente el calor del campo debido a su capacidad limitada de refrigeración. El enfriamiento en las bodegas de los barcos puede ser aún más limitado por el sistema de estibamiento que no usa "palletización", donde las cajas puede que no estén en líneas verticales (comunicación personal de Medlicott). Otra opción es enfriar la fruta antes de embolsarla ya sea con aire frío o con agua fría.

Figura 10. Los efectos del empaque con atmósfera modificada sobre las curvas de temperatura en un "pallet" de banana con enfriamiento con aire forzado

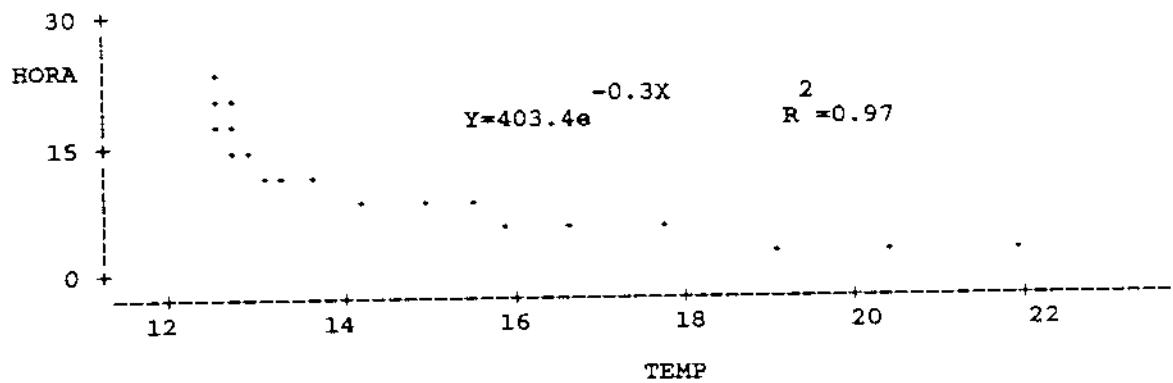
"Banavac"



"Polipack"



Sin bolsa



1. Análisis del Porcentaje de Pérdida de Peso.

Haciendo la comparación del porcentaje de la pérdida de peso según la prueba Duncan (cuadro 9), se encontró que hubo una diferencia significativa entre el empackado sin atmósfera modificada, con atmósfera modificada con "Polipack" y atmósfera modificada "Banavac". El porcentaje de pérdida de peso con "Banavac" no tuvo diferencia significativa con "Polipack" pero estos dos tratamientos tuvieron diferencia significativa con el empaque sin atmósfera modificada.

Aquí se puede ver el efecto del empaque (bolsa) en el porcentaje de pérdida de peso. En aquellos tratamientos con empaque, el porcentaje de pérdida de peso fue mínimo y no significativo comparado con el tratamiento que careció de bolsa, en donde el porcentaje de pérdida de peso fue mayor significativamente.

Cuadro 9. Porcentaje de pérdida de peso, de los tres tratamientos en la fase dos.

Tratamiento	Pérdida de peso (%)
Empacado con AM	1.61a
AM con "Polipack"	0.20b
AM con "Banavac"	0.08b

Leyenda: AM= Atmósfera Modificada.

Este es el promedio de 6 repeticiones, cada repetición con 12 muestras. Los números seguidos con letras comunes, no son diferentes (Prueba de rango múltiple de Duncan, $p=0.05$).

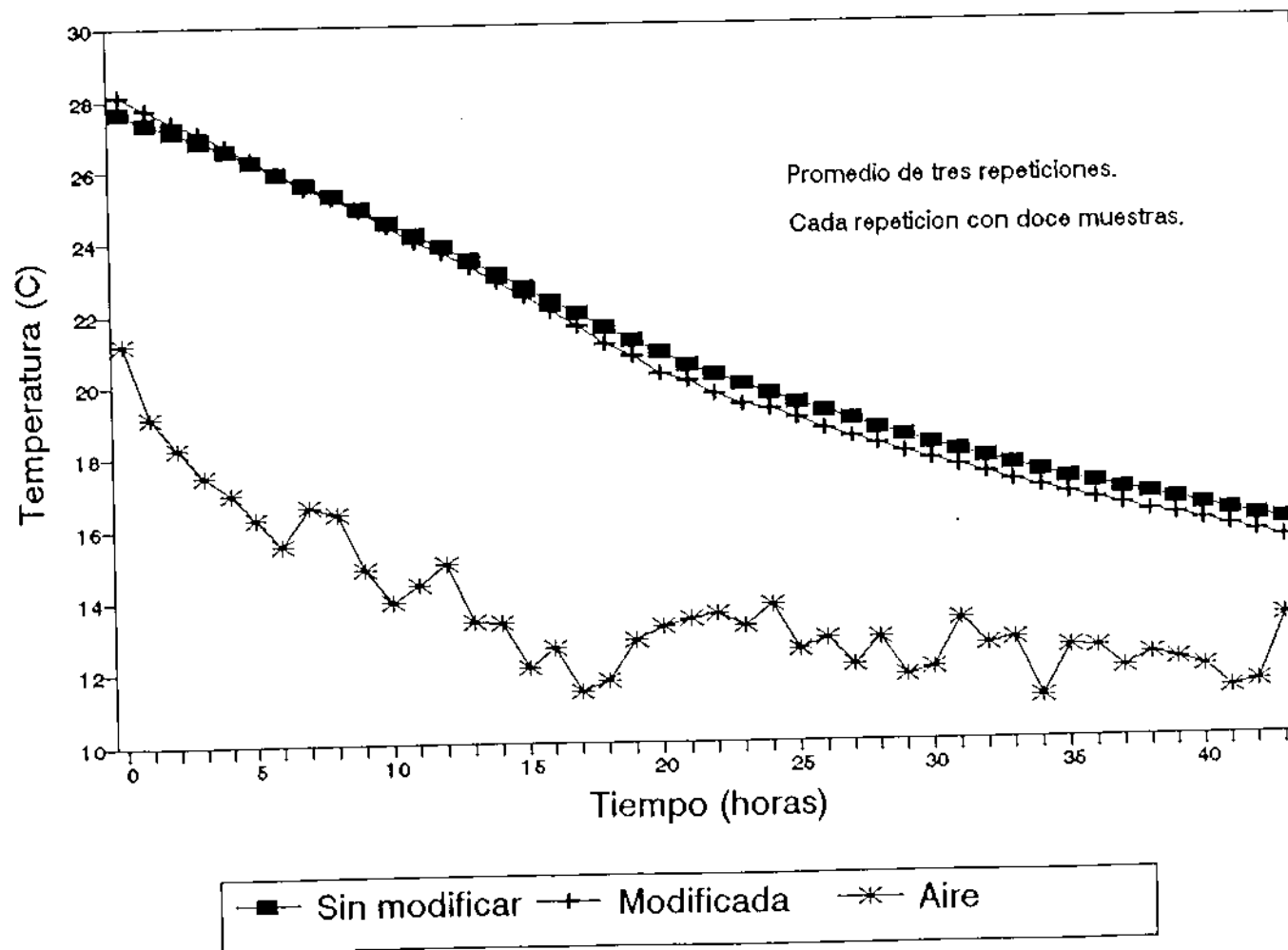
C. Fase Tres: Evaluación de las tasas de pre-enfriamiento en bananos empacados en bolsa para atmósfera modificada con ventilación vertical adicional de las cajas.

En la figura 11, se puede ver que las cajas con ventilación adicional enfrían más rápido que las cajas con ventilación normal. Las dos curvas tienen tendencia lineal, la diferencia entre las dos es mínima. Si comparamos $t_{1/2}$ y $t_{7/8}$ (cuadro 10 y figura 12), las cajas con ventilación normal llegan a $t_{1/2}$ 11 minutos antes que las cajas con ventilación

adicional y a $t_{7/8}$ 40 minutos antes, estos valores se calcularon usando la figura 12. Esta diferencia no es significativa y es lo opuesto de los datos de la figura 11. Esto es probablemente debido a la poca diferencia entre los datos y a la variación entre las réplicas, también debido al tamaño de los agujeros de ventilación y su posición en los "pallets". Además, se encontraron problemas con el mantenimiento de la temperatura del cuarto frío. Se requieren ensayos adicionales con cajas hechas comercialmente y con cargas "palletizadas", reforzadas y atadas.

Los bananos no son pre-enfriados antes de cargarlos en el barco o en los contenedores. El enfriamiento es llevado a cabo desde el fondo hacia la parte superior de las estibas de las cajas de cartón. En otros productos como cítricos donde el mismo sistema de enfriamiento puede ser usado, las cajas tienen orificios de ventilación adicional.

Fig 11. Efecto de la ventilacion adicional en las cajas de un "pallet" de banano empacado con "Banavac" y pre-enfriado con aire forzado

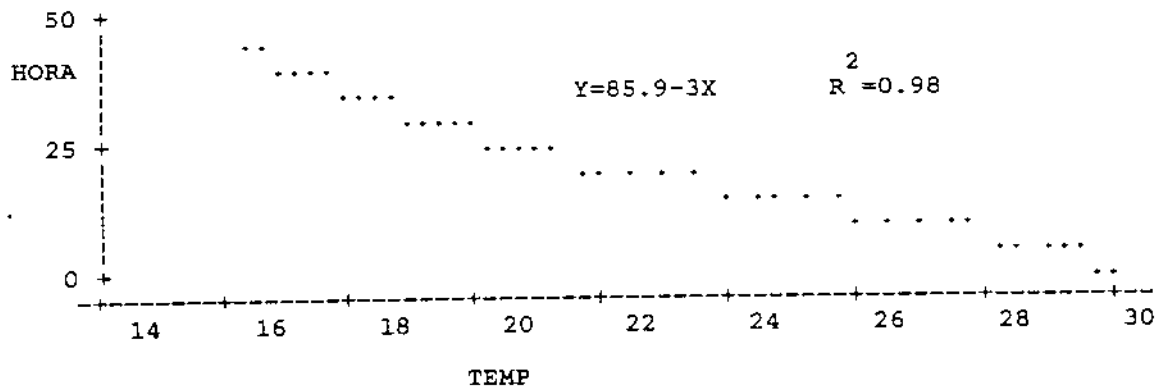


Cuadro 10 Tiempos medios y siete-octavos de enfriado para banano empacado en cajas con ventilación normal y cajas con ventilación adicional.

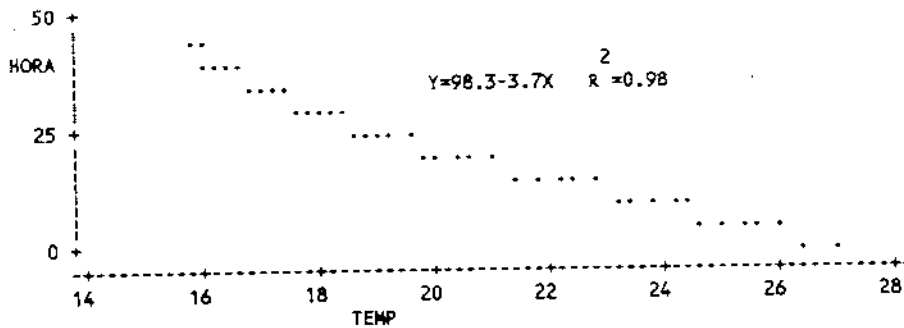
Tratamientos	Modelo	Temp _{1/2} (°C)	Temp _{7/8} (°C)	t _{1/2} (hrs)	t _{7/8} (hrs)
Con vent normal	lineal	22.31	17.29	19.00	34.03
Con vent adicion	lineal	21.39	17.19	19.16	34.70

Figura 12. Efecto de ventilación adicional en las cajas de un "pallet" de banano empacado con "Banavac" y enfriado con aire forzado sobre las curvas de enfriamiento

Caja con ventilación normal



Caja con ventilación adicional



1. Análisis de Porcentaje de Pérdida de Peso.

Haciendo la comparación del porcentaje de la pérdida de peso según la prueba Duncan (cuadro 11), se encontró que no hubo diferencia significativa, entre la caja con ventilación normal y la caja con ventilación adicional. No existe diferencia significativa entre los dos tratamientos ya que ambos están empacados con "Banavac".

Cuadro 11. Porcentaje de pérdida de peso, de los dos tratamientos en la fase tres.

Tratamiento	Pérdida de peso (%)
Caja con ventilación normal	1.18a
Caja con ventilación adicional	1.17a

Este es el promedio de 3 repeticiones, cada repetición con 12 muestras. Los números seguidos con las mismas letras no son diferentes (Prueba de rango múltiple de Duncan, $p=0.05$).

D. Generalidades.

En el pre-enfriamiento por aire normal en un cuarto frío, el producto es enfriado por baja conductividad del calor a través de las paredes de la caja. En el pre-enfriamiento por aire forzado, el producto almacenado en cajas con orificios de ventilación está expuesto al aire y a la alta presión. El aire forzado pasa dentro de la caja a través del producto tomando el calor de éste según Ryall y Pentzer (1982). Este método es de cuatro a diez veces más rápido que el enfriamiento por aire en un cuarto frío. En este ensayo el enfriamiento por aire forzado dirigido de arriba hacia abajo fue cuatro veces más rápido que el enfriamiento por aire normal.

E. Uso Práctico del Sistema de Aire Forzado.

El uso de este sistema de enfriamiento por aire forzado dirigido de arriba hacia abajo representa una opción para pequeños productores de fruta y hortalizas, ya que con este sistema es posible disminuir rápidamente el calor de campo. Cuando el producto está enfriado a la temperatura requerida, se le extrae la bolsa de polietileno del "pallet" y este se

traslada a otro sitio dentro del cuarto frío. Como resultado de estos estudios este sistema ya ha sido probado con pequeños productores de fresa en La Esperanza, donde se han obtenido buenos resultados.

1. Problemas Potenciales y Requerimientos.

- Humedad Relativa: La humedad es un factor crítico, de lo contrario se pierde más o menos el 10% del peso por pérdida de agua del producto.
- Si el cuarto entra en descongelamiento, en la salida del aire del cuarto existe un serpentín que calienta el aire evitando que se forme hielo el mismo, pero al hacer esto se eleva la temperatura del aire y esta salida va unida a la parte superior del "pallet" por una manga plástica, entonces el nivel superior se va a calentar más que los otros niveles, luego el nivel intermedio también va a subir de temperatura pero en menor grado y al nivel inferior no le va a afectar mucho este cambio ya que esta más alejado de la salida del aire.
- El productor para adquirir un cuarto frío debe saber:
 - i. Qué productos va a enfriar, ya que con productos pequeños el enfriamiento es más rápido
 - ii. La capacidad de la unidad de enfriado

V. CONCLUSIONES.

- El sistema provee un método para pre-enfriar rápidamente pequeños volúmenes de producto (cargas en "pallets") y permite el almacenamiento normal una vez que la temperatura se ha reducido.
- El sistema de pre-enfriamiento funciona bien; ya se usó para pre-enfriamiento en fresa con pequeños productores de la Esperanza-Honduras.
- Se puede aumentar la velocidad de pre-enfriamiento 4 veces en comparación que enfriamiento con aire en un cuarto frío.
- La bolsa usada con bananos, afecta la velocidad de pre-enfriamiento, no hay diferencia entre "Banavac" y "Polipack".
- El retraso en el pre-enfriamiento causado por el empacado en atmósfera modificada podría tener un efecto significativo sobre el desarrollo de la pudrición de la cáscara y la maduración prematura durante ciertos meses del año.
- Las cajas con ventilación adicional pueden mejorar algo en la velocidad de pre-enfriamiento. Se requieren realizar ensayos con cajas hechas comercialmente y con cargas "palletizadas", reforzadas y atadas.

VI. RECOMENDACIONES.

- Mejorar el sistema ya que la inconveniencia encontrada, es en la aplicación del mismo en operaciones comerciales, ya que se requiere de tiempo para embolsar el "pallet". Como alternativa podría considerarse la utilización de cuatro láminas lisas de playwood colocadas a cada lado del "pallet" y unidas mediante ganchos, colocándose una bolsa a la entrada del "pallet" la cual estará conectada al conducto de aire que viene desde la salida del aire en el cuarto frío hasta dicha bolsa. Este conducto puede ser hecho utilizando láminas lisas de playwood, pudiendo ser fijo o movable.
- Establecer un sistema de humidificación en el cuarto frío.
- Regular el descongelamiento de manera tal que este ocurra en horas que no afecten el sistema, un ejemplo sería programar el descongelamiento en la noche o en las madrugadas.
- Establecer una sola salida de aire dentro del cuarto frío es una desventaja, ya que cuando ocurre el pre-enfriamiento, el aire está dirigido hacia el "pallet", de manera que la temperatura del resto del cuarto aumenta. Esto no ocurre si existe más de una salida de aire en el cuarto frío, como es el caso de los productores de La Esperanza, que tienen cuatro salidas de aire dentro del cuarto frío, de las cuales

solamente una se utiliza para pre-enfriar.

- Ocurre un incremento en la temperatura del cuarto cada vez que se abre o se cierra la puerta. Una solución sería colocar una cortina de plástico en la puerta.

VII. RESUMEN.

La mayoría de pequeños productores de fruta fresca y hortalizas sufre pérdidas sustanciales y tiene problema para almacenar y vender de acuerdo a la oferta y demanda del mercado. Una de las causas es la falta de equipo de enfriamiento especializado, aunque algunos pueden tener instalaciones de almacenamiento en frío. Una rápida remoción del calor de campo después de la cosecha es importante para prolongar la vida de almacenamiento, vida de anaquel y la calidad del producto. Tratando de encontrar un método que no requiera inversión adicional, se diseñó un mecanismo para utilizar las facilidades de un cuarto frío normal, y proporcionar a los "pallets", pre-enfriamiento con aire forzado. Al cuarto de almacenamiento se le hicieron modificaciones, dirigiendo el flujo del aire de la unidad del ventilador a través de un túnel formado por una bolsa de polietileno, alrededor de un "pallet" formado de cajas de banano. Este procedimiento es aplicable a la mayoría de frutas y hortalizas que se pre-enfríen con aire forzado. Las evaluaciones de enfriamiento se hicieron en un cuarto frío normal versus aire forzado de arriba hacia abajo y de abajo hacia arriba. Los datos mostraron que el enfriamiento medio y

el enfriamiento a siete octavos ($t_{1/2}$ y $t_{7/8}$) se aumentó rápidamente con el sistema modificado de aire forzado, siendo más eficiente el flujo de arriba hacia abajo. El enfriamiento por aire forzado fue cuatro veces más rápido que el enfriamiento en un cuarto frío normal. Este sistema parece ser un buen método de enfriamiento, particularmente si el mismo cuarto puede ser usado para almacenamiento. Los productos sumamente perecederos, como la fresa, lechuga y espárrago, mostrarán beneficios inmediatos.

Estudios anteriores en la FHIA, han mostrado que las bolsas de polietileno usadas en el almacenamiento del banano con atmósfera modificada, causan retrasos en el enfriamiento en las bodegas de los barcos o en los contenedores. El estudio quiso determinar el efecto de dos tipos de bolsa para atmósfera modificada ("Banavac" y "Polipack") sobre la velocidad de enfriamiento en banano. El enfriamiento de fruta en bolsas fue casi seis veces más lento que para fruta empacada sin bolsa. En el empacado con bolsa se redujo significativamente el tiempo de enfriamiento con el sistema de enfriado de aire forzado, con flujo de arriba hacia abajo en el "pallet". Las reducciones de temperatura en "Banavac" fueron más lentas que aquellas en "Polipack", debido al grosor de la bolsa. El retraso en el enfriamiento causado por el empacado en atmósfera modificada podría tener un efecto significativo sobre el desarrollo de la pudrición de la

cáscara y la maduración prematura durante ciertos meses del año. Los datos muestran la importancia del enfriamiento antes de embolsar la fruta, la cual puede ser enfriada con aire forzado o con agua fría.

Con el presente diseño de la caja para banano, usado en sistemas verticales de enfriamiento, el aire pasa a través de los orificios que existen en la base de la tapadera. En muchos casos este paso es restringido por el uso de un cartón utilizado para separar la fruta. El ensayo se llevó a cabo para determinar los efectos de ventilación adicional en las esquinas de la parte de arriba y de abajo de las paredes laterales de la caja, sobre la velocidad de enfriamiento de los bananos empacados en un tipo de bolsa para atmósfera modificada ("Banavac"). La caja con agujeros adicionales de ventilación mostró un pequeño aumento en la tasa de enfriamiento, usando aire forzado de arriba hacia abajo. Esto probablemente debido al tamaño de los agujeros y su posición sobre los "pallets". Se requieren ensayos adicionales con cajas hechas comercialmente y con cargas "palletizadas", reforzadas y atadas.

VIII. BIBLIOGRAFIA.

- Burke, O.J., Coursey, D.C. and Rickard, J.E. 1976. Recent advances in research on Post-harvest handling of Tropical and Subtropical fruit. *Acta Horticulturae*; 57:50-53.
- Desai, B.B., and Salunkhe, D.K. 1984. Postharvest biotechnology of fruits. USA. p57.
- Hackert, J.M., R.V. Morey, and D.R. Thompson. 1987. Precooling of Fresh Market Broccoli. *American Society of Agricultural Engineers* 30(5):1489-1493.
- Hardenburg, R.E., Wang, A.E. and Watada, A.E. 1986. The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks. U.S. Department of Agriculture. Agricultural Research Service. *Agriculture Handbook*. No. 66.
- Hawkins, J.C., Messer, H.J. and Lindsam, R.T. 1978. Cooling of vegetables with positive ventilation and an ice bank cooler. *National Institute of Agricultural Engineering*. West Park, Silsoe, Bedford U.K. 4(2)34-37.
- Kader, A.A. 1992. Postharvest Technology of Horticultural Crops, University of California, Division of Agriculture and Natural Resources. Publication 3311.

- Kader, A.A., , Kasmire, R.F., Mitchell, F.G., Reid, M.S., Sommer, N.F. and Thompson, J.F. 1985. Postharvest Technology of Horticultural Crops. Cooperative Extension. University of California. Division of Agriculture and Natural Resources. Special Publication 3311.
- Kasmire, R.F. and Parsons, R.A. 1979. Forced-air unit to rapidly cool small lots of packaged produce. One-sheet answers, Cooperative Extension. University of California. No. 272.
- Lipton, W.J. and Ryall, A.L. 1983. Handling, Transportation and Storage of Fruits and Vegetables. Vegetables and melons. Vol 1. 2nd Ed. AVI Publishing Company Inc. Westport, Connecticut. USA.
- Mc Gregor, B.M. 1987. Manual de Transporte de Productos Tropicales. Departamento de Agricultura de Los Estados Unidos. Manual de Agricultura. No. 668.
- Medlicott, A. y Salgado, T. 1992. Enfriamiento de productos vegetales y métodos de enfriamiento. FHIA, Post-cosecha 3:1-8.
- Montes, A. 1992. Tecnología de Post-Cosecha en cultivos hortícolas. El Zamorano, Honduras. p.5.
- Montes, A. 1991. Fisiología y manejo del producto cosechado. Apuntes de clase. El Zamorano, Honduras. p6.

- National Institute of Agricultural Engineering. 19XX.
Vegetable Preparation, Cooling and Storage, Positive
ventilation with ice bank cooling. National Institute
Agriculture Engineeing. West Park, Silsoe, Bedford MK45
4HS. U.K. 3p.
- Nicholas, C.J. 1985. Export handbook for U.S. Agricultural
Products. United States Departament of Agriculture.
Office of Transportation. Agriculture Handbook No. 593.
- Pentzer, W.T. and Ryall, A.L. 1982. Handling, Transportation
and Storage of Fruits and Vegetables. Fruits and Tree
Nuts. Vol 2, 2nd Ed. AVI Publishing Company, Inc.
Westport, Connecticut. USA.
- Proctor, F.J. 1983. The importance of precooling fruits and
vegetales. Asean workshop on transportation and handling
techniques for Horticultural Produce. Bangkok, Thailand.
Tropical Develoment And Research Institute, London. p9.
- Pother, N.N. 1978. La ciencia de los alimentos. Traducida al
español por Anita Yates, ed Harla. México. p210.
- Soto, M. 1990. Bananos, cultivo y comercialización. 2a ed,
Litografía LIL,SA. San José, Costa Rica.
- Watkins, 1990. Forced Air Cooling. Queensland Departament of
Primary Industries, Information Series Q188027. Revised
by Scott Ledger, Brisbane, 60p.