

Fisiología de maduración postcosecha de banano

Variedad Nanica (Musa Cavendishii)

Después de la cosecha, gran número de frutas llamadas climatéricas sufrén profundas transformaciones bioquímicas que influyen directamente la calidad de esos productos.

La respiración medida como la cantidad de CO₂ producido por Kg de producto por hora, es el proceso metabólico más importante entre los demás que ocurren en las frutas después de la cosecha, siendo que su intensidad se refleja en la mayor o menor deterioración del producto, para una determinada condición de almacenamiento.

La importancia del conocimiento de la intensidad respiratoria de un producto, hace posible relacionar algunas de las transformaciones físicas y bioquímicas tales como la variación del peso, volumen, firmeza, desarrollo de azúcares, ácidos, etc., que en conjunto son responsables por la buena calidad y conservación posterior.

En el presente trabajo se tuvo como objetivo principal el estudio de la tasa respiratoria del banano, variedad NANICA (MUSA Cavendishii), en dos condiciones diferentes de almacenamiento: 26° C y 60% de humedad relativa y 15° C y 90% de humedad relativa. Se estudió paralelamente su incidencia en los parámetros físicos, de peso, peso específico, volumen, firmeza y químicos en sólidos solubles, pH, acidez, azúcares reductores y azúcares totales.

Los resultados obtenidos pueden considerarse de gran utilidad para el estudio de los parámetros que intervienen en procesos de almacenamiento, empaque, transporte y conservación de este producto.

FANNY VILLAMIZAR DE BORRERO
Ingeniero Agrícola
M. Sc. Ingeniería de Alimentos
Profesor Asistente
Jefe de la Sección de Procesos Agrícolas

REVISION DE LITERATURA

Las frutas y verduras son estructuras vivas cuya composición y calidad se encuentran sujetas a cambios provocados por la continuación de la actividad metabólica después de la cosecha. Los tejidos continúan con capacidad de llevar a cabo una variedad de transformaciones metabólicas entre sus componentes orgánicos; son capaces de perder agua por transpiración como por evaporación y en general, es un proceso que casi siempre resulta perjudicial, ya que provoca el secado y el marchitamiento de los productos. (1,6).

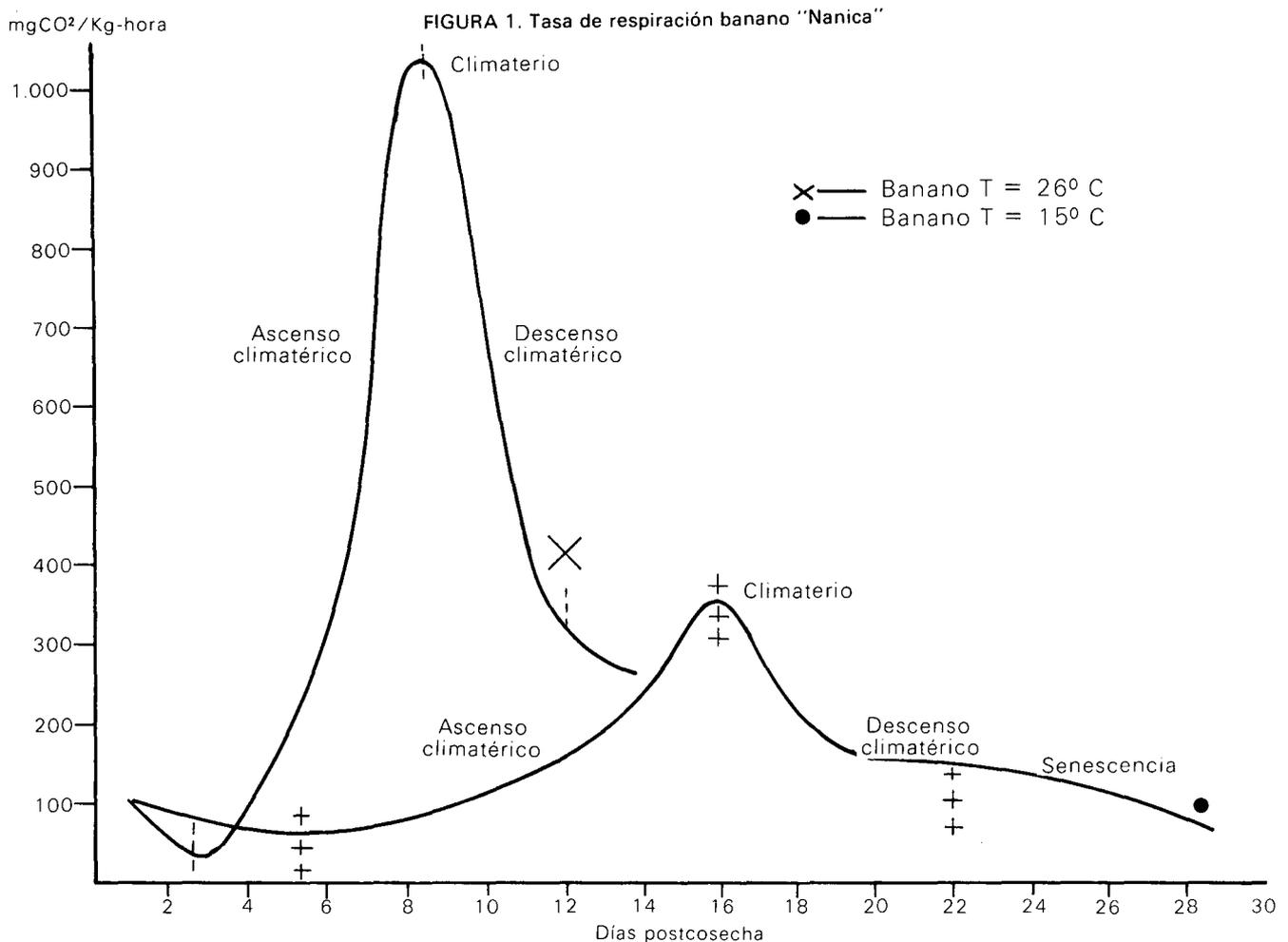
La respiración es el proceso metabólico más importante de los que se realizan en los productos vegetales después de recolectados. El tipo y la intensidad de esa actividad metabólica depende de varios factores, entre ellos:

- De qué órgano de la planta es el producto: raíz, tallo, hojas, fruto.
- La temperatura y la humedad relativa del aire en el almacenamiento.
- Las concentraciones de CO₂, O₂, y etileno (C₂H₄) del ambiente de almacenamiento.

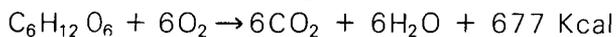
De los tres factores anotados, el tipo de producto y la temperatura, son quizás los determinantes en cuanto a la duración de la vida postcosecha y calidad del producto después del almacenamiento. La actividad respiratoria varía dependiendo básicamente de la función que desempeñaba el producto como órgano de la planta siendo, por ejemplo, mayor en las hojas que en las raíces. (1)

La temperatura presenta un límite inferior, cercano a 0° C, y uno superior, entre 35 y 40° C, sobre los cuales cesa la actividad metabólica de la respiración. Sin embargo a las temperaturas mínimas toleradas, se presentan tasas respiratorias menores que demoran el ascenso climatérico y reducen el punto máximo en la curva de respiración, que a temperaturas mayores. (1)

El envejecimiento del producto provoca una desorganización progresiva del aparato metabólico de la célula que, para mantener su integridad, necesita de un suministro constante de energía que procede de la respiración. La energía producida es máxima cuando el producto está en presencia de oxígeno molecular.



Los sustratos normales para la respiración de los tejidos vegetales son los hidratos de carbono y los ácidos, siendo la reacción de la molécula de un azúcar monosacárido la siguiente:



Se observa aquí la producción de bióxido de carbono (CO_2), agua (H_2O) y calor.

La tasa de respiración indica la rapidez con que se producen los cambios en la composición de un producto y ésta puede variar en diversas partes de un mismo tejido y/o entre diversas capas de células. (6)

Las frutas y verduras pueden dividirse en dos grupos de acuerdo con su actividad respiratoria. La mayoría de los frutos carnosos llamados "climatericos", que presentan una elevación característica en su tasa respiratoria que coincide con cambios de color, sabor, textura, peso, asociados con la maduración, la que indica el comienzo del envejecimiento y donde este máximo se llama "climaterio", y algunas frutas y la mayoría de las verduras, donde no se presenta este máximo, que se llaman "no climatéricas".

Existen diferencias entre las especies e incluso entre las variedades de un mismo producto, con respecto a la máxima tasa de actividad respiratoria, y con respecto a las relaciones de tiempo de este fenómeno, en conexión con la época de recolección de las frutas. (1)

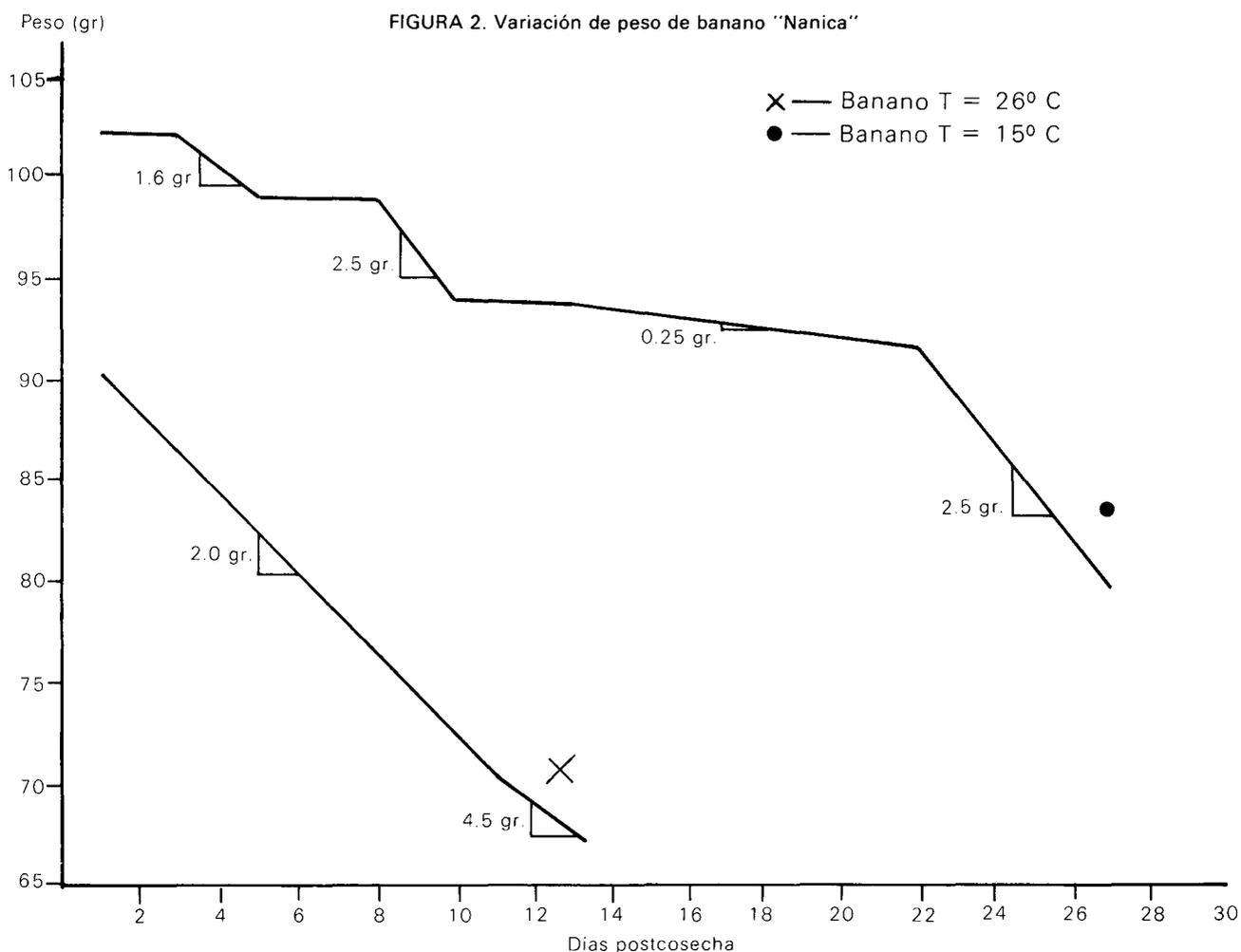
La importancia del conocimiento de la tasa respiratoria hace posible relacionar algunos de los cambios postcosecha con las principales propiedades físicas, como la variación de peso, firmeza, etc., así como también variaciones químicas, como en la acidez, contenido de sólidos solubles y azúcares, que en conjunto son los responsables por la buena calidad de un producto en la comercialización posterior. (1, 3, 6).

MATERIALES Y METODOS

Se seleccionaron para la experiencia dos racimos de banano, variedad "Nanica", con un peso aproximado de 12 kg. cada uno, y en estado de madurez verde. Se repartieron en grupos, para posteriores análisis de a) respiración, b) pérdida de peso, c) peso específico y volumen real, d) variación de firmeza, e) sólidos solubles, f) pH, g) acidez titulable, h) azúcares reductores, i) azúcares totales.

Anterior a la repartición para los análisis, se separaron cuidadosamente los gajos de cada racimo, evitando cualquier lesión y separando los que ya las presentaban; se procedió de forma idéntica para las dos temperaturas de almacenamiento seleccionadas para la investigación.

El almacenamiento se realizó en cámaras climáticas con control de temperatura, humedad relativa y circulación forzada de aire interno, a las condiciones ambientales de $15^\circ C$ y 90% de humedad relativa y $26^\circ C$ y 60% de humedad relativa. Para la



determinación de la tasa respiratoria se utilizó un diaferómetro MG4-724, marca Kipp Zonen, Delft-Holanda, aparato que funciona con base en galvanómetros, bomba para movimiento de aire y accesorios que miden la deflexión de CO_2 y O_2 contenidos en la muestra de aire donde se halla el producto en estudio.

Las lecturas de CO_2 y O_2 dadas por el aparato se tomaron cada minuto durante 5 ó 6 minutos, llevándolas a papel milimetrado para el cálculo de la tasa respiratoria, mediante fórmulas dadas por el catálogo del equipo. Se realizaron lecturas diarias de respiración en ($\text{mg CO}_2/\text{kg-hr}$), a las dos condiciones de almacenamiento. La pérdida de peso se registró diariamente, en gramos, a un mismo lote de producto, en balanza de precisión.

El peso específico se obtuvo utilizando el método de la balanza basado en el principio de Arquímedes, pesando cada individuo del lote, en el aire, luego pesando una probeta con agua y finalmente el banana sumergido. El peso específico se calculó por la fórmula:

$$\gamma_b = \frac{\text{peso en aire del banana} \times \gamma_a}{\text{peso del agua desplazada}} \quad \text{donde:}$$

γ_b = Peso específico real del banana.

γ_a = Peso específico del agua.

y el cálculo del volumen real de cada fruta mediante la fórmula:

$$V = \frac{\text{peso en aire del banana}}{\gamma_b} \quad \text{Donde:}$$

V = Volumen real, en cm^3 .

Para la variación de la firmeza, se hicieron lecturas diarias de deformación, en mm., dadas por el "Instron Tester Machine", aparato que funciona aplicando una carga constante a compresión, con velocidad constante, de 2 kg., en esta experiencia. (5)

La determinación de los sólidos solubles ($^\circ$ Brix), se realizó mediante lectura directa de la pulpa previamente homogeneizada en un retractómetro tipo ABBE y el potencial de hidrógeno (pH) por la inmersión de los electrodos de un potenciómetro, en las muestras licuadas.

Se efectuaron análisis químicos para la determinación de la acidez titulable y azúcares reductores y totales por el método Lane-Eynon.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados arrojados por el experimento mostraron marcadas variaciones, para la mayoría de los parámetros estudiados.

Los datos de respiración del banana almacenado a las dos temperaturas aparecen en la Figura 1. Se observa que a las dos condiciones de almacenamiento, el producto presentó el comportamiento de las frutas climatéricas con sus fases de pre-

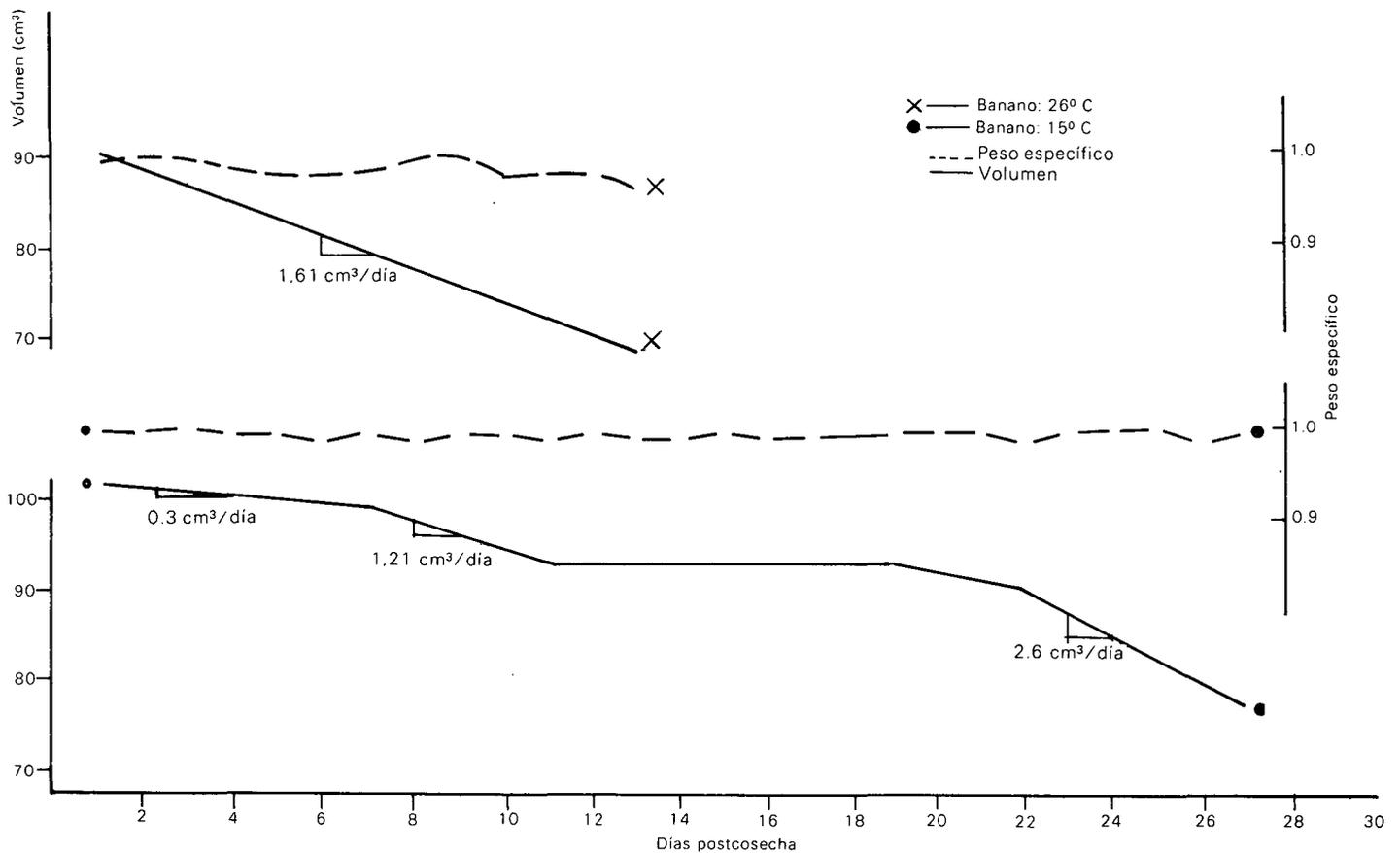


FIGURA 3. Variación del peso específico y el volumen del banano "Nanica".

climaterio, climaterio, postclimaterio y senescencia.

La intensidad de la tasa respiratoria en el climaterio (punto de máxima actividad respiratoria, correspondiente a la fase de la madurez donde la fruta ha alcanzado todas sus características organolépticas) fue de 1061 mg. CO₂/kg-hr., aproximadamente tres veces mayor para la almacenada a 26° C, comparada con 362mgCO₂/kg-hr de la almacenada a 15° C, lo que a su vez se manifestó en una duración de 28 días contra 13, para el producto almacenado a temperatura más baja.

Lo anterior confirma la tesis de que a temperaturas elevadas (entre 20 y 30° C) la tasa respiratoria aumenta de modo intenso, mientras que a temperaturas más bajas, pero toleradas por el producto, demora el ascenso climatérico y reducen su punto máximo, en la curva de respiración. (1, 3, 6).

La variación del peso diario en gr. de los productos almacenados a las dos temperaturas se muestra en la Figura 2. De estos resultados, se aprecia que la pérdida de peso fue constante, aproximadamente 2 gr./día, para el producto a 26° C y una pérdida de peso total en 13 días de 25.3%. El almacenado a 15° C, no presentó una pérdida uniforme a través de los días, sino mayores pérdidas, entre 1.6 y 2.5 gr./día, en el pre-climaterio y la senescencia, y mucho menores en el ascenso climatérico, climaterio, descenso climatérico, de 0,25 gr./día. La pérdida de peso total en 27 días fue de 22,1%. Estos resultados concuerdan con los conceptos teóricos de que los medios por los cuales

un producto pierde peso son: a) la transpiración o pérdida de agua por unidad de peso del producto, dependiendo directamente de su área superficial, b) el agua desprendida por la reacción química de la respiración. La transpiración es la causante de la mayor pérdida de peso, cuando se da la existencia de un gradiente de presión de vapor de agua, P_v, entre la atmósfera externa que presenta valores bajos de P_v, a medida que aumenta la temperatura, y la interna, que en productos altamente perecederos normalmente está saturada, correspondiente al valor de presión de vapor de saturación, P_{vs}. (3, 6). De los datos diarios del peso específico, a las dos condiciones de almacenamiento, se obtuvo por cálculo de la variación del volumen real, como se aprecia en la Figura 3.

La variación del volumen real fue aproximadamente constante, en 1,61 cm³/día, para T = 26° C, a diferencia del almacenado a T = 15° C, que mostró las mayores variaciones de su volumen al final del preclimaterio y senescencia, con 1,21 y 2,6 cm³/día respectivamente. La variación del volumen total del producto a 15° C fue de 23% en 27 días y a 26° C de 21,25% en 13 días.

La deformación diaria en mm. se presenta en la Figura 4, la cual muestra las tendencias de la deformación para ambas temperaturas; la deformación total fue mayor para el producto a 26° C con 2,62 mm./12 días, que a 15° C con 1,95 mm./27 días; sin embargo, la pérdida de la firmeza no fue constante en los días postcosecha ya que, a

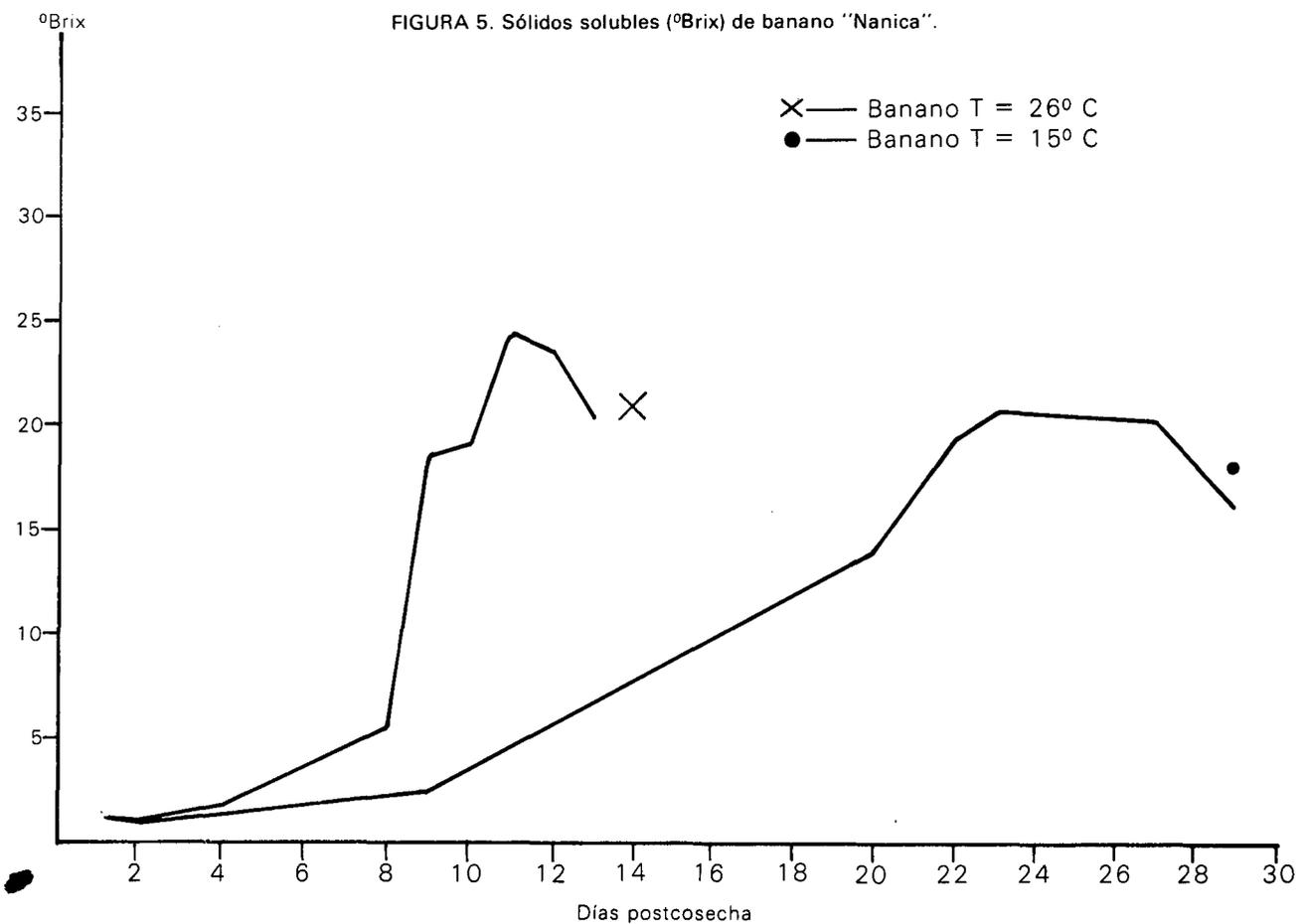
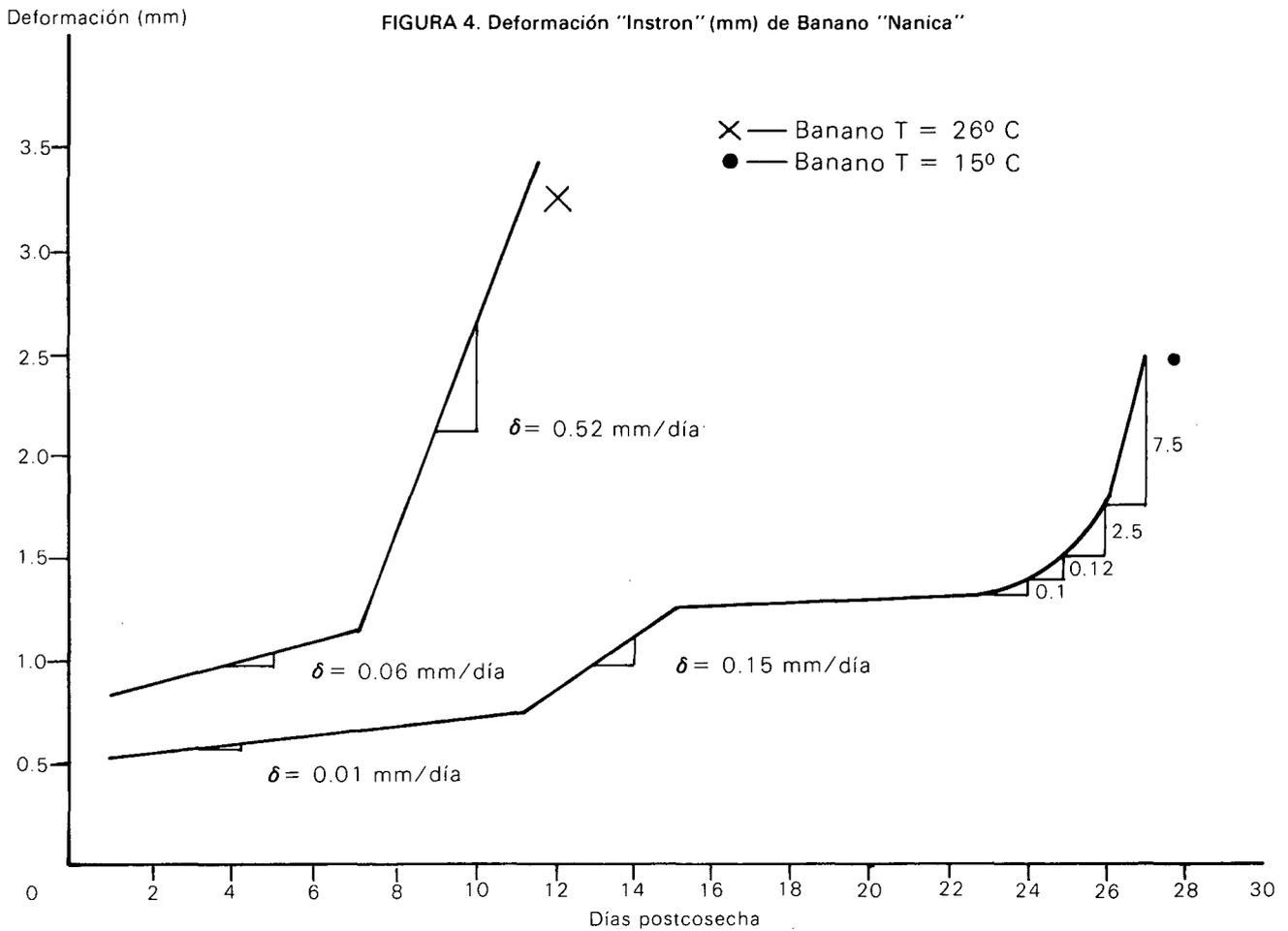
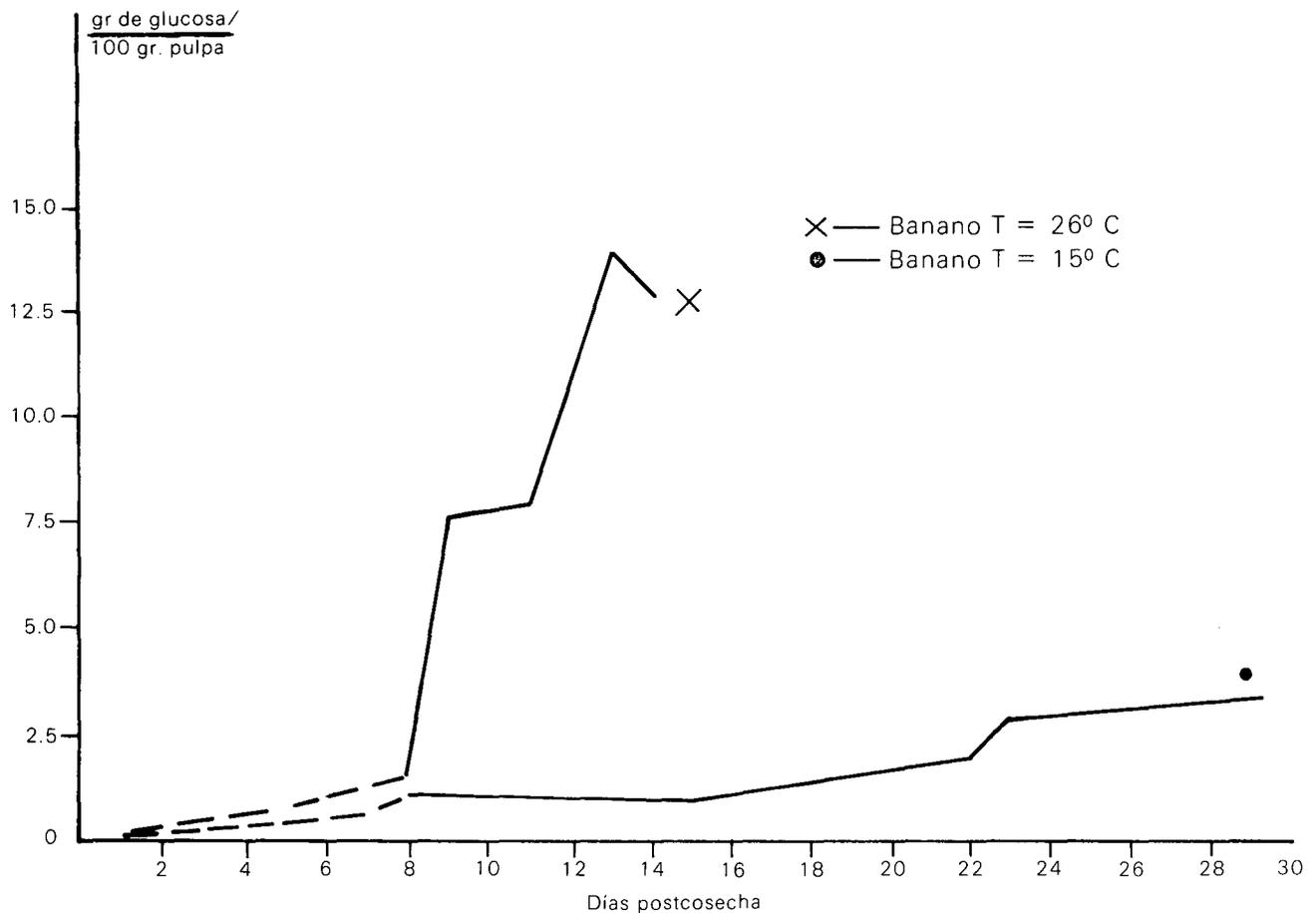


FIGURA 6. Azúcares reductores banano "Nanica"



temperatura más elevada, sólo se observaron dos tendencias: hasta el día anterior al climaterio con una deformación pequeña de 0.06 mm./día, incrementándose a 0,52 mm./día, a partir de ese día hasta la senescencia. A la temperatura más baja se presentaron las mayores deformaciones $\delta = 0,15$ mm./día, en el ascenso climatérico y $\delta = 0,24$ mm./día, en la senescencia, permaneciendo casi constante en $\delta = 0,01$ mm./día, en las otras fases. La explicación al hecho del ablandamiento que experimenta el producto al madurar puede darse por la solubilización progresiva y despolimerización de las sustancias pécticas, componentes de los tejidos de soporte (colénquima) que dan la estructura del fruto. Ellos están compuestos principalmente por hemicelulosas, pectinas y celulosa en menor proporción. En la pulpa del banano la protopectina insoluble se vuelve soluble, bajo la acción enzimática, lo cual corresponde a un aumento en las pectinas solubles durante la maduración; asimismo, las hemicelulosas decrecen de un 8-10% de la pulpa fresca verde, a cerca de 1% en la fruta madura. La celulosa, que se encuentra de 2 a 3% en la fruta verde, decrece proporcionalmente al madurar. Se ha comprobado que estas sustancias son reservas de carbohidratos y orígenes potenciales de azúcares, y otras sustancias respirables durante la maduración del producto. (2, 3, 7).

Los datos obtenidos para los sólidos solubles ($^{\circ}$ Brix) presentados en la Figura 5, para las dos temperaturas, muestran un incremento notorio durante todas

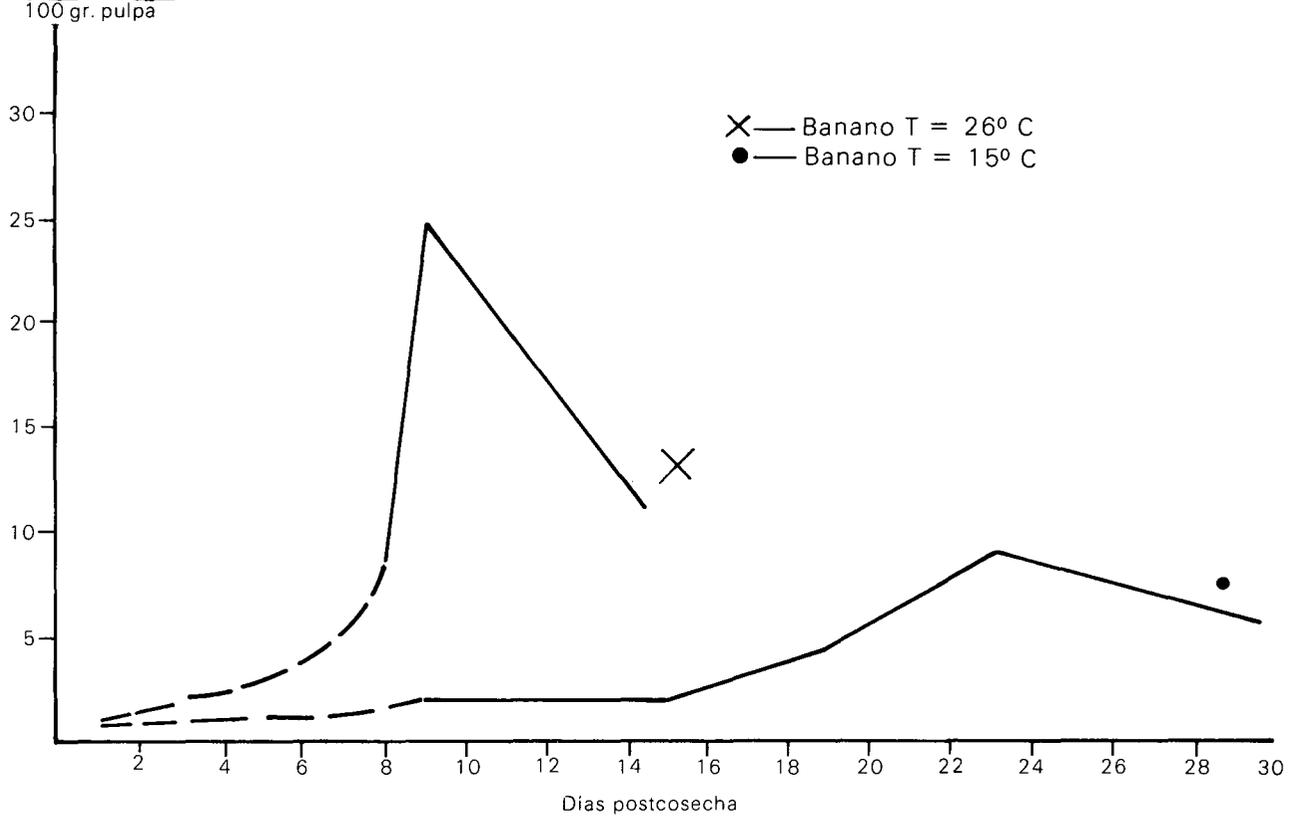
las fases de la maduración, con excepción de la senescencia donde presentó una disminución. A la temperatura de 26°C, se tuvo un aumento a 23,0 $^{\circ}$ Brix/11 días y en la senescencia disminuyó a 20 $^{\circ}$ Brix/2 días. En forma semejante, a 15°C aumentó a 19,4 $^{\circ}$ Brix/23 días, y presentó una disminución a 16 $^{\circ}$ Brix/6 días hasta el final de la senescencia. En estos resultados se aprecia una proporcionalidad directa entre la temperatura y el desarrollo de los sólidos solubles.

La explicación de estas variaciones se comprende sabiendo que las sustancias que sufren una mayor solubilización son los constituyentes celulósicos denominados "fibra cruda" (celulosa, hemicelulosa, lignina) y los carbohidratos cuyo principal componente es el almidón, en el banano verde. Según Loesecke (4), la "fibra cruda" disminuye unas 100 veces al completar el proceso de maduración, donde se da una intensa actividad metabólica, caracterizada por una hidrólisis activa de las sustancias insolubles, que al volverse solubles sirven como sustrato en el proceso de la respiración.

Las Figuras 6 y 7 presentan el comportamiento de los azúcares reductores (glucosa y fructuosa) y totales (sacarosa). Para la temperatura de 26°C se observa un marcado incremento al pasar de 1,61 a 7,69 gr. glucosa/100 gr. pulpa, el día del climaterio y de 8,42 a 24,77 gr. glucosa/100 gr. pulpa, al siguiente día, en azúcares reductores y totales respectivamente. A 15°C el aumento fue mucho menor, pero constante, pasando de 1,14 a 2,94 gr. glucosa/100 gr. pulpa

gr. de glucosa/
100 gr. pulpa

FIGURA 7. Azúcares totales banano "Nanica"



gr. de ácido málico
100 gr. de pulpa

FIGURA 8. Acidez banano "Nanica"

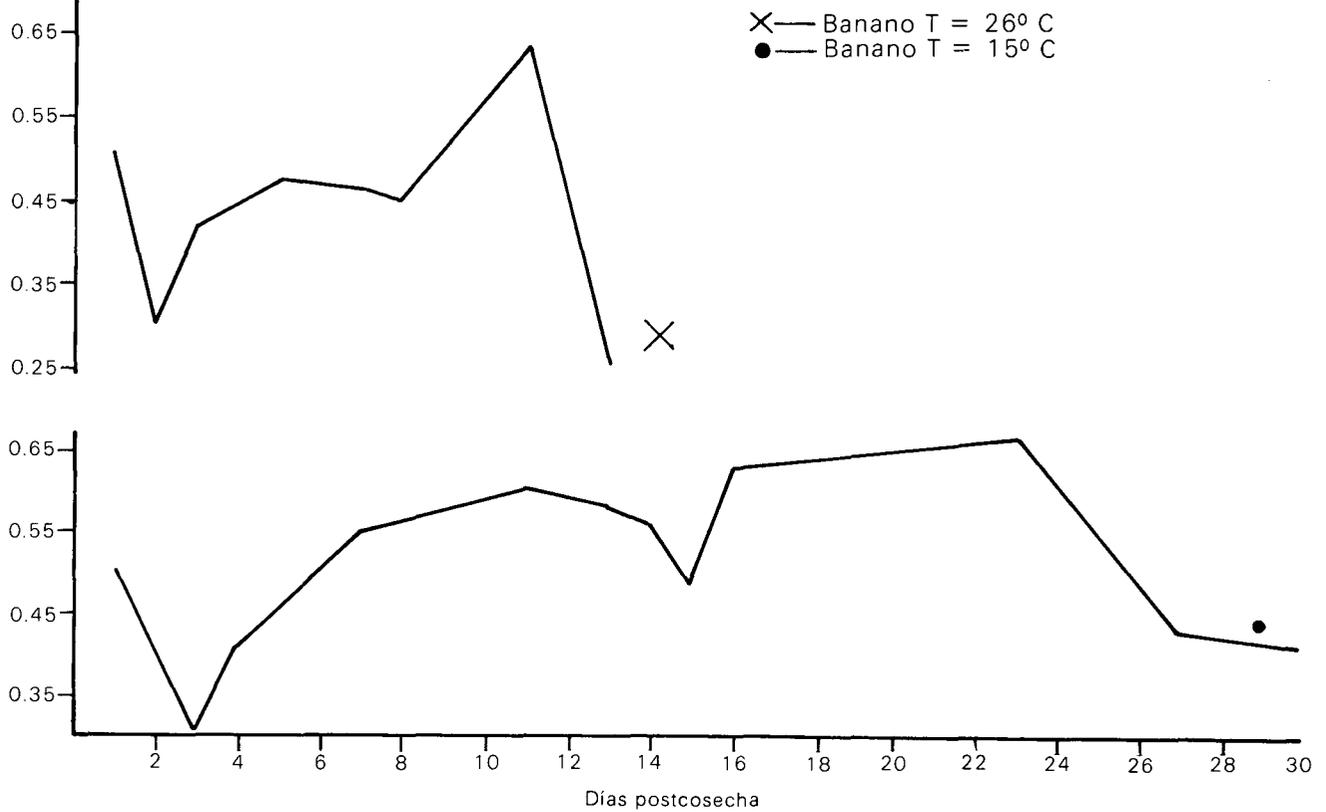
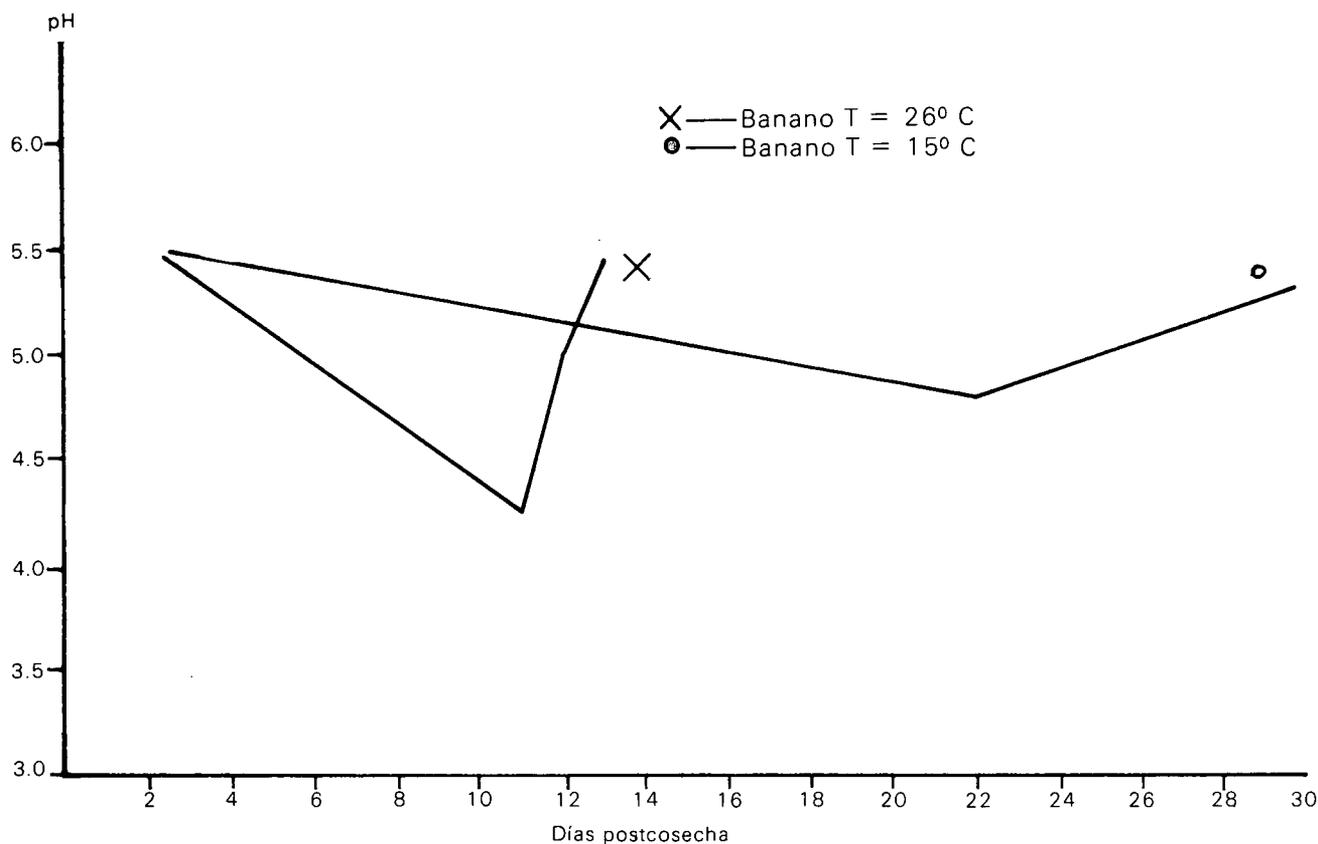


FIGURA 9. pH banano "Nanica"



en la fase ascenso climatérico-descenso climatérico y de 2,84 a 10,39 gr. glucosa/100 gr. pulpa, en la misma fase, para reductores y totales en respectivo orden. La senescencia presentó disminución de azúcares totales a ambas temperaturas. Se puede deducir de los resultados anteriores, que en el período anterior al climaterio hay un porcentaje bajo de transformación de carbohidratos en azúcares, pero a partir de este punto se inicia una producción acelerada hasta la senescencia.

En el producto madurado a temperatura superior, se observó que los azúcares totales disminuyeron notablemente después del climaterio, debido a la formación de reductores a partir de sacarosa, situación que no se dio a la temperatura inferior, donde su continuo aumento indica que se siguen produciendo proporcionalmente los tres azúcares.

Si se comparan las Figuras 6 y 7, con la de sólidos solubles, se observa la concordancia de cada fase con el aumento de sólidos solubles, es decir con la hidrólisis del almidón y sustancias celulósicas, que son las fuentes de producción de azúcares.

La acidez determinada para el producto en estudio, como acidez titulable en gr. de ácido málico/100 gr. pulpa y con la medida del pH, muestra los resultados del estudio en las Figuras 8 y 9.

Se aprecia un aumento moderado en acidez titulable, de 0,3 a 0,45 gr. ácido málico/100 gr. de pulpa, en el pre-climaterio del banano almacenado a 26° C, pero intensificado a partir del climaterio de

0,46 a 0,63, para descender de este valor a 0,25 en la senescencia. Con el producto almacenado a 15° C, el ascenso, que varió de 0,3 a 0,66 gr. ácido málico/100 gr. pulpa, fue moderado en todas las fases anteriores a la senescencia, de donde se registró una disminución a un valor de 0,42.

Se observó concordancia en el comportamiento de la acidez titulable con los resultados de la variación de pH; se mostró una disminución en el valor inicial, hasta el día donde la acidez titulable disminuyó, y donde los valores de pH aumentaron de nuevo. Esto sucedió para el producto a las dos temperaturas. A 26° C y hasta el inicio de la senescencia el pH bajó de 5.5 a 4.2, aumentando en ella, hasta un valor de 5.48. A 15° C, en las mismas fases, descendió del valor inicial de 5.5 a 4.75 y de este valor hasta 5.4 en la senescencia.

Los resultados obtenidos de pH, así como los de azúcares a las dos condiciones de almacenamiento, indican que para el producto en estudio las bajas temperaturas no favorecen el desarrollo adecuado de azúcares y ácidos, que le den una buena calidad gustativa en la madurez, al banano de la variedad estudiada.

CONCLUSIONES

Bajo las condiciones de la investigación se pueden anotar las siguientes conclusiones generales:

1. El banano variedad "Nanica" (*Musa Cavendishii*), tuvo un comportamiento de fruto climatérico, con sus fases respectivas de pre-climaterio,

climaterio, postclimaterio y senescencia.

2. La actividad respiratoria en cualquier condición de almacenamiento del banano "Nanica", después de cosechado, es el factor responsable de los cambios físicos y químicos que se presentaron en el producto en cada una de las fases postcosecha que antecedieron la deterioración final.
3. La temperatura es el parámetro que afecta, en forma directamente proporcional, la intensidad de la respiración, ya que se comprobó que a la temperatura de 26° C, la tasa respiratoria en su punto máximo fue 2,93 veces mayor, que para el banano almacenado a 15° C.
4. La intensidad respiratoria es inversamente proporcional a la duración en días postcosecha del producto, comprobado aquí con los 27 días de almacenamiento del banano a 15° C y 13 días del almacenado a 26° C.
5. La pérdida del peso total fue mayor y constante (25%) para el producto a mayor temperatura, y menor y variable (22%) para el de menor temperatura.
6. La disminución del volumen total, alrededor del 22% para ambas condiciones, presentó un comportamiento constante a 26° C y variable a 15° C.
7. La firmeza del banano almacenado varió poco, hasta el día anterior al climaterio, en la de 26° C y antes del ascenso climatérico, en la de 15° C, a partir de los cuales ambos incrementaron la deformación diaria 10 veces aproximadamente. El producto a menor temperatura sufrió la mayor deformación en la senescencia.
8. La variación química de azúcares y ácidos tienen en el climaterio (26° C) y ascenso climatérico (15° C), el punto donde se presentan aumentos notables, que dan las características organolépticas al banano maduro.
9. Todas las variaciones de las características físicas, químicas y fisiológicas analizadas, presentaron valores menores a temperatura de 15° C, que a la de 26° C.

BIBLIOGRAFIA

Duckwort, R. B. 1968. *Frutas y Verduras*. Editorial Acribia. Zaragoza, España.

GAIDA. *Grupo Ejecutivo de Irrigação para o Desenvolvimento Agrícola Bananas*, Vol. 9, Fundação Centro Tropical de Pesquisas e Tecnologia de Alimentos. Campinas, Brasil.

Hulme, A. C. 1971. *The Biochemistry of Fruit and their Products*. Vol. 2, Academic Press, London and New York.

Loesecke, H. W. 1950. *Bananas*. Vol. 1., Interscience Publishers, Inc. New York Interscience Publishers Ltd. London.

Moshenin, N. N. 1970. *Physical Properties of Plant and Animal Materials*. Vol. I. Gordon and Brach Science Publishers.

Pantastico, E. B. 1975. *Postharvest Physiology Handling and Utilization of Tropical and Subtropical Fruits and Vegetables*. The AVI Publishing Company. Westport Connecticut.

Sgarbieri, V. C. 1965/1966. *Transformações Bioquímicas da Banana Nanica durante o amadurecimento*. Coletanea do Instituto de Tecnologia de Alimentos. Campinas, S.P., Brasil.