EFECTO DEL INHIBIDOR DE ETILENO 1-Metilciclopropeno (1-MCP) EN LA MADURACIÓN DEL BANANO BOCADILLO (*Musa x paradisíaca* L.)

[1]Yenny Viviana Pardo [2]
Edith Celmira Rubio

RESUMEN

Una de las especies exóticas de banano es el Banano Bocadillo (*Musa X paradisíaca L),* alrededor de éste se han desarrollado numerosos estudios para mejorar su conservación en poscosecha. Este trabajo evalúa el efecto del inhibidor de etileno 1-Metilciclopropeno en el banano bocadillo aplicado en tres concentraciones 700, 1000 y 1200mg/m^3 a dos temperaturas de almacenamiento 18°C y 27°C, con un tiempo de contacto de 2 horas. El banano tratado se somete a un seguimiento de sus propiedades químicas, fisicoquímicas y su actividad respiratoria después del corte; para evaluar su comportamiento metabólico y cuando alcanza un estado de madurez sensorialmente óptimo se evalúan las propiedades organolépticas con un panel de catadores entrenado del Departamento de Química de la Universidad Nacional, sede Bogotá. Las evaluaciones químicas realizadas son; la medida de ácidos carboxílicos y azúcares, por medio de Cromatografía líquida de alta eficiencia HPLC, la estimación fisiológica realizada es la intensidad respiratoria, medida utilizando Cromatografía de gases CG, con cuantificación de estándar externo. Las medidas fisicoquímicas realizadas son pH, acidez titulable, dureza, sólidos solubles totales (°Brix) y se miden desde el corte hasta la senescencia del fruto. El efecto observado con el seguimiento realizado, es una alteración en todo el metabolismo modificando la maduración normal y afectando significativamente las características organolépticas del fruto, lo que indica que el inhibidor de etileno 1-Metilciclopropeno (1-MCP) en las condiciones y concentraciones utilizadas en el presente trabajo no es apto para prolongar la vida útil del banano bocadillo.

Palabras claves: Senescencia, Climatérico, Inhibidor, 1-Metilciclopropeno, organoléptica.

INTRODUCCIÓN

Colombia es el tercer país exportador mundial de banano alcanzando cifras anuales de 24,2 millones de cajas de fruta, lo que se ve representado en divisas por 125,1 millones de dólares, convirtiéndose en uno de nuestros productos de mayor interés.

Una de las especies exóticas de banano es el Bananito o banano Bocadillo ("*Musa x paradisíaca* L") la cual es muy apetecida en el ámbito mundial. Lo anterior es una de las razones más importantes por las cuales el abrir nuevos campos de investigación acerca de procesos de conservación o prolongación de la vida útil del fruto, representa un gran aporte social y económico para el país.

Otro de los puntos importantes a tener en cuenta son las cifras de pérdidas poscosecha de frutas (en muchos casos superiores al 50%) y si se tiene en cuenta que el banano bocadillo es un fruto muy susceptible al deterioro, es vital mantener el bananito con su fisiología y sabor característico, lo cual se ha logrado mediante un almacenamiento y manipulación apropiadas, sin embargo, existiría una gran ventaja si se lograran manejar retardantes de madurez.

En el grupo de investigación de frutas tropicales se han desarrollado varios trabajos de grado relacio-

[1]Departamento de Química Universidad Nacional de Colombia.
[2] qpardo@latinmail.com_ecrubiom@unal.edu.co

nados con almacenamientos apropiados para mantener la fruta en un estado adecuado tales como atmósferas modificadas, absorbedores de etileno, choque térmico, refrigeración adecuada, de los cuales se han obtenido resultados que aportan datos positivos al desarrollo del tema de la conservación del fruto en la poscosecha. En esta investigación se hace una exploración preliminar, puesto que el fruto como materia viva puede tener muy diversas reacciones al sentir interferido su metabolismo normal.

Como bien se sabe la maduración de los frutos esta relacionada directamente con la síntesis de etileno (1), este compuesto aumenta la permeabilidad de las membranas y acelera el mecanismo del metabolismo y por lo tanto la maduración.

El Etileno es conocido como hormona de maduración o regulador de crecimiento. A escala mundial el conocimiento sobre este tipo de hormonas de la planta se ha abierto camino durante las últimas décadas lo cual es un paso importante hacia la comprensión del desarrollo de la planta y su regulación. Sin embargo, en las frutas tropicales todo está por hacerse y sería de gran valor encontrar resultados favorables, para retardar la madurez del Bananito de tal manera que pueda llegar a más lugares en el mundo y en perfecto estado.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

CIFRAS ECONÓMICAS

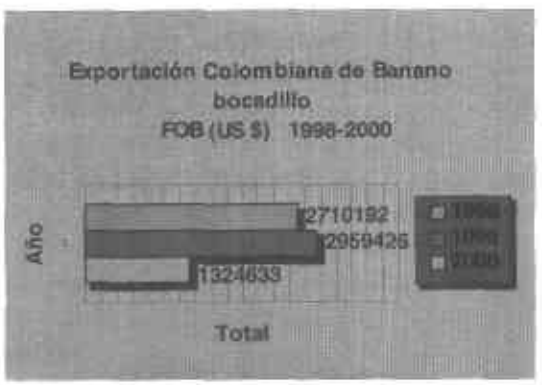


Figura 1. Exportaciones colombianas de banano bocadillo FOB (US $) 1998 - 2000

El consumo de banano bocadillo a nivel interno es bajo, aunque es conocido en todos los estratos y ciudades del país.

Las exportaciones de bananito desde Colombia se han realizado a Francia, Suiza, Alemania e Inglaterra, principalmente y en menor grado a Austria, Bélgica, Canadá, España, Holanda, Suecia y Estados Unidos. El primer semestre del 2003 [1] se exportó 30.6 millones de cajas de banano de 18.14kg, lo que equivale a 188 millones de dólares, los principales destinos fueron Estados Unidos y Bélgica, de éste total una parte importante pertenece al banano bocadillo.

Etileno. El etileno es una fitohormona que coordina y regula numerosos procesos del crecimiento y de la senescencia de las plantas. Su actividad biológica se produce a muy bajas concentraciones (0.01ml/l) y afecta un gran espectro de procesos fisiológicos.

La concentración del etileno varía significativamente, de acuerdo con la etapa fisiológica en que se encuentre la planta o el fruto, por ejemplo se tiene, la germinación de semillas, la maduración de frutos (climatéricos), senescencia, abscisión de hojas o factores del medio que alteren el normal metabolismo, como infección de patógenos, lesiones, deficiencia o exceso de agua y otras condiciones más.

La naturaleza gaseosa del etileno le confiere ciertas ventajas especiales como regulador del desarrollo de las plantas, pues su capacidad de difusión por los espacios intercelulares facilita alterar la

[1] Datos tomados de la pagina web del Ministerio de comercio exterior www.mincomex.gov.co visitada en Nov 1de 20003.

concentración interna en los tejidos simplemente por cambios en la velocidad de síntesis. Esta característica ofrecería al mismo tiempo, la posibilidad de actuar como una señal ante una alteración externa impuesta en otros lugares de la planta coordinando una respuesta rápida y uniforme en distintos tejidos, frente a un estimulo ambiental o a la etapa del desarrollo (2).

Biosíntesis del etileno y su regulación. El primer mecanismo de biosíntesis de etileno fue el propuesto por Adams y Yang en 1979. El inicio de este mecanismo lo constituyó, el establecer que los carbonos 3 y 4 del aminoácido metionina sirven de sustratos en la producción de etileno, evento que descubrieron Lieberman y Cols 1966 (3).

La primera etapa del mecanismo es la constitución de la forma activada de metionina, llamada s-adenosil-metionina (SAM), por una reacción dependiente de ATP.

El segundo paso del proceso de biosíntesis es la formación de ACC ácido (1-amino-ciclopropano-1-carboxilico), etapa que se conoce como la primera reacción especifica de la síntesis de etileno. El suministro exógeno de ACC a la mayoría de los tejidos vegetales incrementa considerablemente la producción de etileno, lo que sugiere que la síntesis de ACC, catalizada por la enzima ACC sintetasa, constituye la etapa limitante de la biosíntesis de etileno, Yang y Hoffman 1984.

Por último el ACC, se convierte en etileno por acción de la enzima ACC oxidasa liberando al mismo tiempo CO_2 y HCN, esta reacción es dependiente de oxígeno.

Efecto del etileno. El etileno es considerado una hormona porque produce señales de transducción, esas señales de transducción cuando llegan a la molécula se unen a la célula y producen señales que cambian el metabolismo celular (4); éstas activan algunas enzimas que:

- ✓ Cambian la organización del citoesqueleto, lo que hace que aumentan o disminuyen las mitocondrias y los citoplastos.
- ✓ Cambian la permeabilidad de canales iónicos.
- ✓ Activan la síntesis de DNA y RNA nuevo.
- ✓ Pueden inhibir la expresión de genes.
- ✓ Cambia la actividad de las proteínas y la expresión genética.

Hasta que se llega al climaterio se producen señales de transducción, luego de éste el etileno produce una autoinhibición. Durante la producción de etileno se activan las siguientes enzimas:

Lipasas

Triglicéridos $\xrightarrow{\text{Lipasas}}$ Glicerol + Ácidos grasos Libres

Los ácidos grasos libres de alto peso molecular son precursores de ácidos pequeños, los cuales, pueden esterificarse y generan sabor y aroma.

Pectinasas y Poligalacturonasas

Protopectina $\xrightarrow{\text{Etileno}}$ Celulosa + Pectina

Pectina $\xrightarrow{\text{Poligalacturonasas}}$ Ácido galacturónico

A medida que disminuye el contenido total de sustancias pécticas la dureza del fruto disminuye.

Amilasas.

Almidón $\xrightarrow{\text{Amilasas}}$ Dextrinas + Glucosa

Por la pérdida de almidón se ablanda el fruto y con los disacáridos se mejora el sabor.

Clorofilasas.

Clorofilasas $\xrightarrow{\text{Etileno}}$ Fitinas + Clorofilinas

Desaparece el color verde y se observa el amarillo característico de los carotenos presentes en los bananos.

MATERIALES Y MÉTODOS

DETERMINACIONES FISICOQUÍMICAS

Se realiza cada 5 días y por triplicado para cada muestra.

Dureza. Se determina la resistencia a la penetrabilidad mediante un penetrómetro Fruit Tester mod 327. El análisis se realiza en la mitad de la sección cóncava del fruto completo.

pH. Se prepara una mezcla a 60% de pulpa (macerada o licuada) en agua destilada, se homogeniza y se mide pH con el potenciómetro.

Sólidos solubles. Después de la determinación de pH se filtra la mezcla y al filtrado se le mide sólidos solubles con refractómetro ATAGO 8682. El resultado se expresa como º Brix.

Acidez titulable. Diez gramos de pulpa (macerada o licuada) se homogenizan con aproximadamente 30ml de agua destilada y se titula con NaOH 0.1 N hasta pH 8.2 (AOAC, 1990)

ACTIVIDAD RESPIRATORIA

Se emplea Cromatografía de gases y cuantificación con estándar externo, con el propósito de determinar la cantidad de CO_2 producido. Cada 3 días se lleva una muestra de fruta, previamente pesada, a una cámara de vidrio, transcurridos mínimo 15 minutos (máximo 1hora) se toma una muestra (1.0 mL) del gas que sale de la cámara y se inyecta directamente en el cromatógrafo de gases HP5890A, con columna Supel-Q PLOT (30 m x 0.53 mm); fase estacionaria Carbosieve SII, gas de arrastre Helio y detector de conductividad térmica.

Las condiciones de análisis son:

Temperatura del inyector: 250 ºC
Temperatura de la columna: 35 ºC
Velocidad de calentamiento: 10 ºC/min
Temperatura del detector: 250 ºC

ANÁLISIS DE ÁCIDOS Y AZÚCARES

Se realiza el análisis por Cromatografía Líquida de Alta Eficiencia (HPLC) previa preparación de la muestra (5) que consiste en la extracción metanólica a reflujo por una hora con 20.0 g de pulpa y 30.0 mL de metanol, a continuación se filtra al vacío y el filtrado se concentra en rotavapor. Finalmente, se afora a 25.0 mL con fase móvil (H_2SO_4 8 mM) y justo antes de inyectar en el equipo la muestra se filtra por una membrana Millipore HVLP 1300. El análisis se realiza en forma simultanea usando una columna AMINEX HPX-87H (300 x 7.8 mm), fase móvil H2SO4 8 mM y detectores UV e índice de refracción conectados en serie.

Las condiciones de análisis son:

Temperatura de la columna: 45 ºC
Flujo de la fase móvil: 0.5 mL/min
Temperatura del detector: 45 ºC

La identificación se realiza contra patrones y la cuantificación por interpolación en las respectivas curvas de calibración

ANÁLISIS SENSORIAL

Se realiza cada 5 días a partir de la aparición de la coloración amarilla o frutos con más de 30 % de madurez y hasta su senescencia. Se aplica un método descriptivo de puntajes con un panel de seis catadores entrenados, seleccionando los parámetros (6) de apariencia, color, textura, aroma y sabor en donde los dos primeros se realizan tanto al fruto con cáscara como a la pulpa. Los resultados obtenidos se tratan por el método de la prueba H de Kruskal-Wallis que se usa para determinar si muestras independientes pertenecen o no a una o diferentes poblaciones. También se utiliza el método de Friedman usado en evaluación sensorial para determinar el tiempo de vida los alimentos.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos de las variables, en los diferentes tratamientos son tratados estadísticamente mediante un (7) Anova multivariado, para determinar diferencias entre las muestras y si existe algún tipo de correlación entre los parámetros fisiológicos, fisicoquímicos y químicos con la calidad sensorial.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

ÍNDICE DE RESPIRACIÓN Y EVALUACIÓN SENSORIAL

En la mayoría de los frutos el comienzo de la maduración esta acompañada de un incremento de la respiración conocido como climatérico y la velocidad de respiración desciende de nuevo cuando finaliza la maduración y comienza la senescencia (8).

Para las Figuras a continuación se observa el comportamiento del bananito de 7 semanas de corte almacenado a 18ºC (7S-18ºC).

En la Figura 2, la línea que representa el comportamiento

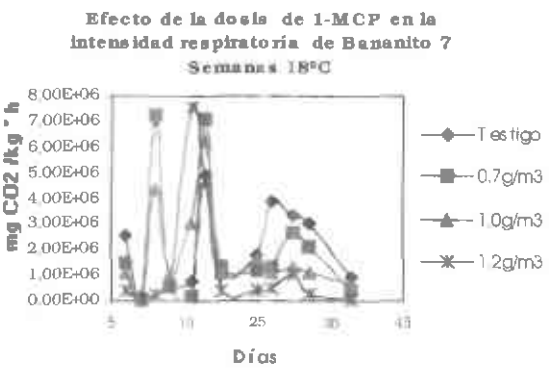
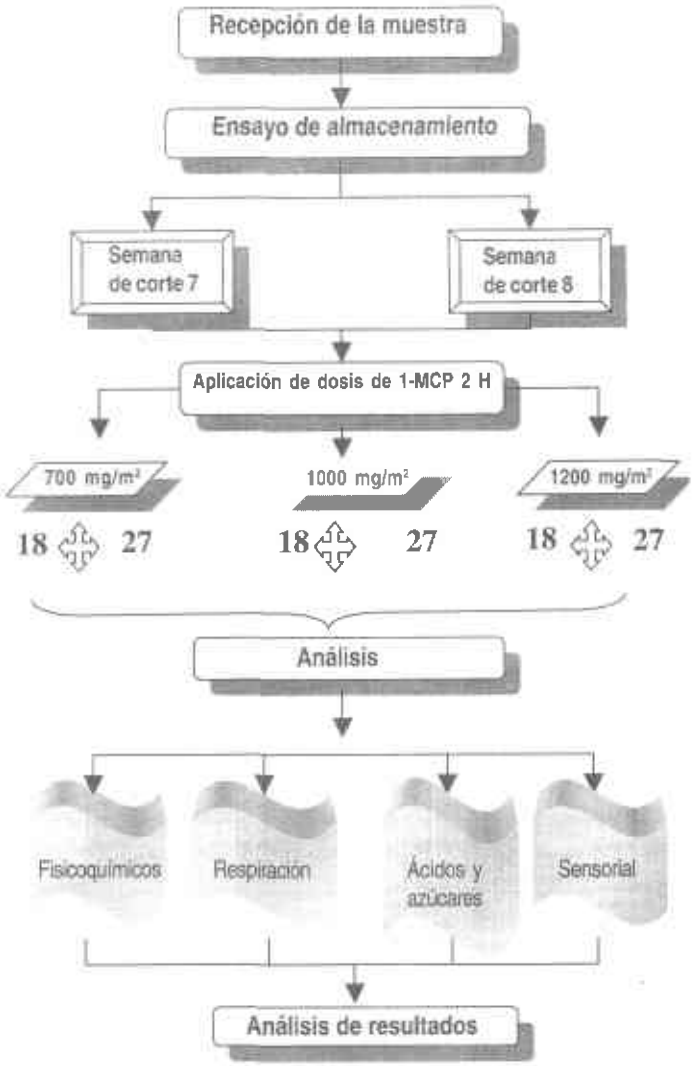


Figura 2. Intensidad respiratoria del bananito 7S-18 ºC

Diagrama de flujo de metodología



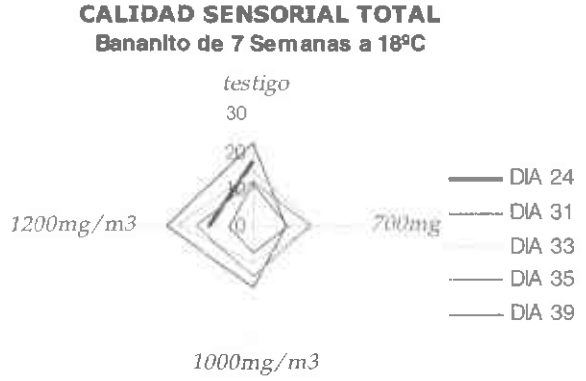


Figura 3. Calidad sensorial total; Bananito 7S-18ºC

del testigo, alcanza un máximo el día 16, éste máximo se puede relacionar con las máximas cualidades organolépticas, lo cual lo convierte en el climatério del testigo.

Para los bananitos tratados con el inhibidor se observan varios picos de respiración sin embargo ninguno de ellos corresponde al máximo climatérico, pues en los días en donde se observan los picos el banano se encontraba inmaduro, no apto para consumo.

Si se compara este comportamiento con las gráficas de Calidad sensorial total, donde se evalúan (Figura 3) se observa que solo hasta el día 24 el bananito con dosis de 1200mg/m³ de 1-MCP estaba en condiciones de madurez para consumo y los otros tratamientos se evalúan a partir del día 31 hasta el día 39.

En la Figura 3 se observa que en su mayoría no hay una diferencia drástica entre las calificaciones del testigo y los tratamientos, teniendo en cuenta que el testigo se encontraba a esta altura en un estado avanzado de senescencia.

Analizando la Figura 4 de intensidad respiratoria para el bananito de 7S-27ºC, ocurre un comportamiento similar al anterior, con la diferencia de una maduración más rápida debido a la alta temperatura, en esta se observa que el bananito alcanza al máximo climatérico el día 12 donde se encuentra con las mejores condiciones para consumo. Para los bananitos con inhibidor se observa un máximo respiratorio, también el día 12, pero el bananito aun se encuentra verde no consumible y el hecho de que los picos de los bananitos tratados tengan un valor mayor de intensidad respiratoria, representa alteración fisiológica que es generada por la aplicación del inhibidor de etileno.

Observando las gráficas de calidad sensorial total para esta temperatura de almacenamiento (Figura 5) se obtienen tan solo dos evaluaciones y a partir del día 24, sin embargo, este día los bananitos también presenta-

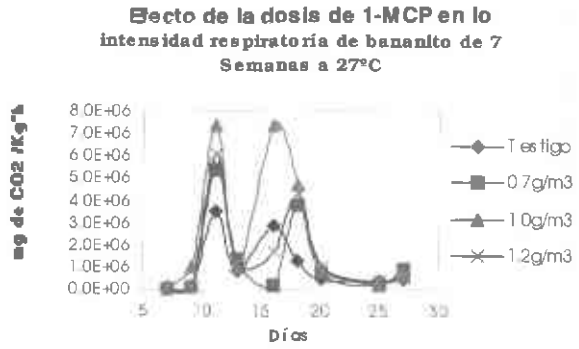


Figura 4. Intensidad respiratoria del bananito 7S-27ºC

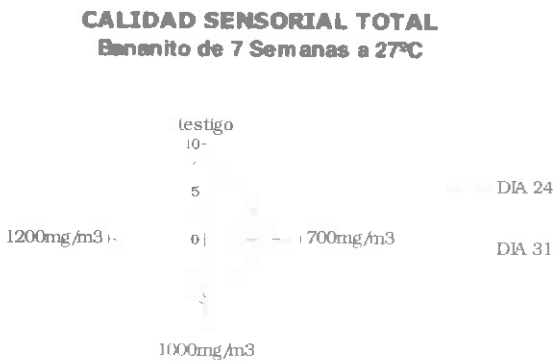


Figura 5. Intensidad respiratoria del bananito 7S-27ºC

ban coloración verde acompañada de manchas negras de pardeamiento, lo que nos indica que sin llegar a la maduración total el bananito ya está degradándose y el periodo que tiene de vida útil se acorta limitándose a una semana de duración.

El bananito de 8 semanas, por ser cosechado más tarde, alcanza el climaterio aproximadamente una semana después del corte si se almacena a temperatura ambiente.

En la Figura 6, de intensidad respiratoria para el bananito de 8S-18ºC, se observa que el testigo alcanza el máximo climaterio el día 9 y las pruebas sensoriales se pueden comenzar hasta el dia 21 (Figura 7) y las calificaciones en este caso también son muy cercanas a las del testigo que ya se encuentra en un proceso avanzado de senescencia.

En la figura 8 de índice de respiración para el bananito 8S-27ºC, el testigo alcanza el máximo climaterico el día 6 y como ocurre en los anteriores casos ninguno de los máximos observados para los bananitos tratados corresponde al máximo de las características organolépticas de los mismos.

Observando la Figura 9 de calidad total sensorial las evaluaciones comienzan el día 16 y este día el testigo a pesar del deterioro, obtiene mejores calificaciones que los sometidos a tratamiento. Las observaciones más importantes hechas por los catadores con respecto a los bananitos tratados con el 1-MCP, en las tres concentraciones dadas son:

1. En la corteza del bananito se observa aún tonalidades verdes indicando inmadurez, pero al mismo tiempo se detectaba pardeamiento.
2. El sabor se detecta alterado, no alcanzando la dulzura característica de este fruto.

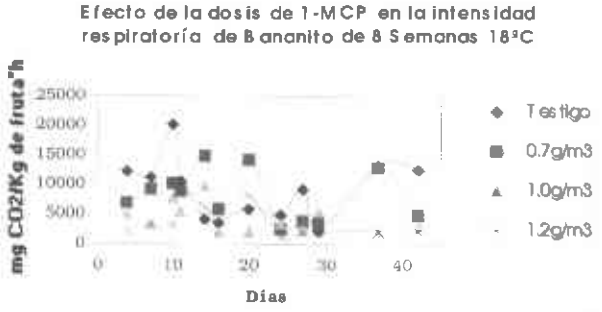


Figura 6. Intensidad respiratoria del bananito 8S-18ºC

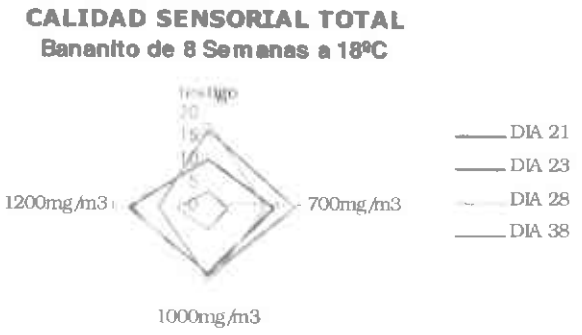


Figura 7. Calidad sensorial total. Bananito 8S-18ºC

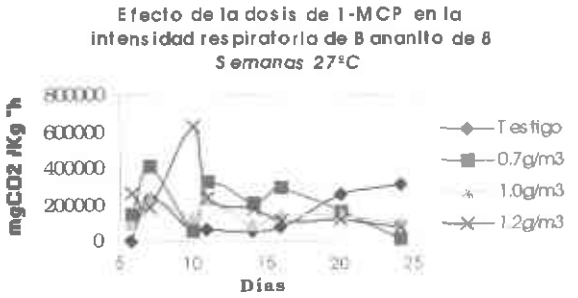


Figura 8. *Intensidad respiratoria bananito 8S-27ºC*

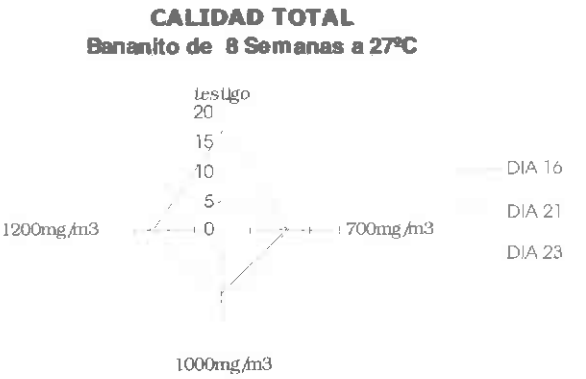


Figura 9. *Calidad sensorial total. Bananito 8S-27ºC*

3. La textura también se ve afectada, pues la parte central del fruto se torna dura y grumosa.

RESULTADOS FISICOQUÍMICOS

Debido a las observaciones sensoriales, de los resultados fisicoquímicos se muestran los de sólidos solubles totales (ºBrix), ya que esta medida se relaciona directamente con la transformación del almidón (9) en azúcares durante el transcurso de la maduración, y por tanto con el sabor.

En las Figuras de ºbrix (Figuras 10 y 11) para el bananito cosechado a 7 semanas muestran acumulación paulatina de sólidos solubles en la pulpa del testigo hasta el día 20 y para los de 8 semanas de corte es aproximadamente hasta el día 11, luego se observa un incremento en la actividad enzimática, la cual depende de la acción del etileno como fitohormona y que se ve reflejado en un notable aumento de los º brix.

En los bananitos con el inhibidor 1-MCP de 7 semanas de corte se presenta acumulación de sólidos solubles en menor proporción que el testigo lo que se ve reflejado en la disminución de dulzura del fruto.

En las Figuras 12,13 de º brix para los bananitos de 8 semanas de corte, se sigue una tendencia similar a los bananitos cortados a 7 semanas.

Es de notar que los valores alcanzados de ºbrix por las muestras con inhibidor de etileno es menor que el presentado por el testigo, lo que puede indicar una inhibición en los procesos metabólicos de degradación o disminución en la síntesis de hidratos de carbono.

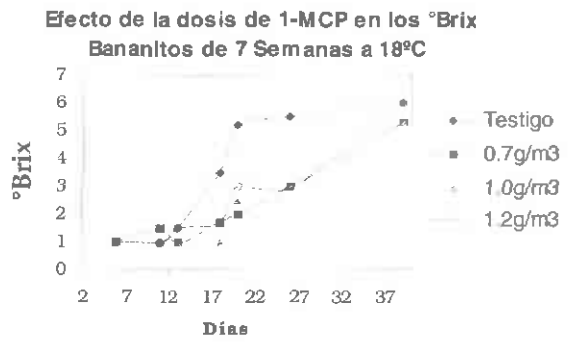


Figura 10. º Brix de bananito 7S-18ºC

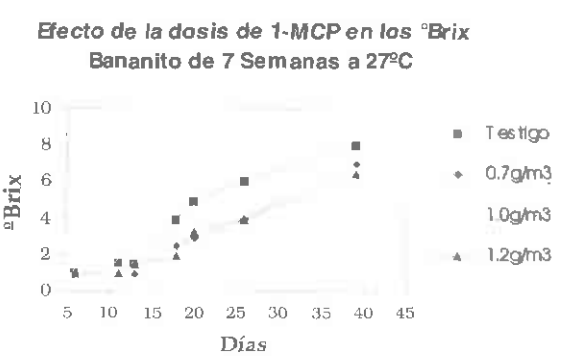


Figura 11. º Brix de bananito 7S-27ºC

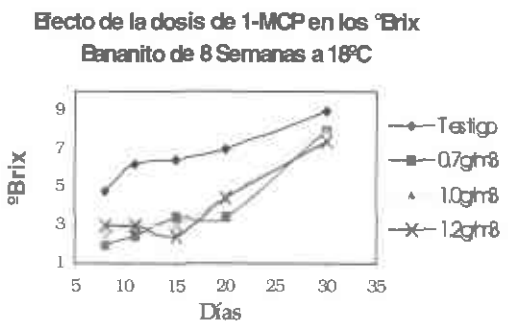


Figura 12. ºBrix de bananito 8S-18ºC

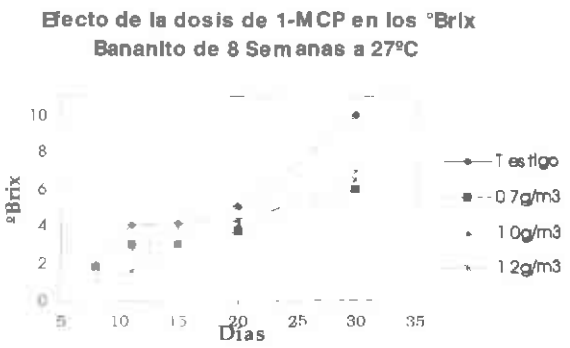


Figura 13. ºBrix de bananito 8S-27ºC

RESULTADOS QUÍMICOS

ÁCIDOS CARBOXÍLICOS

El comportamiento esperado para el bananito es que con el avance de la maduración se observe un incremento gradual de la acidez en la pulpa que se debe a la biosíntesis de ácido oxálico en estado verde del fruto y una biosíntesis predominante de ácido málico (ácido mayoritario del banano) en etapas de madurez.

El comportamiento del ácido málico (Figuras 14,15,16,17) para las muestras testigo y presentan un máximo que concuerda con el máximo climatérico.

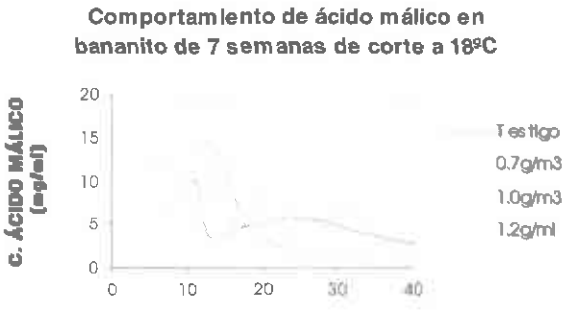


Figura 14. Ácido málico en bananito 7S-18ºC

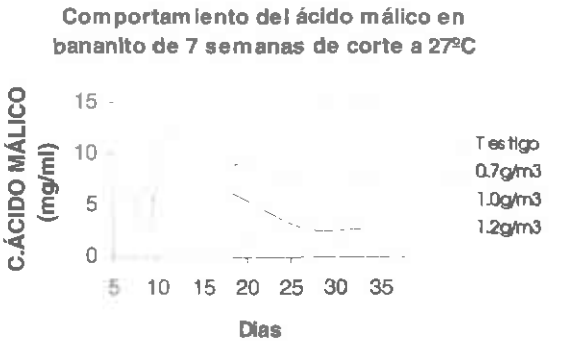


Figura 15. Ácido málico en bananito 7S-27ºC

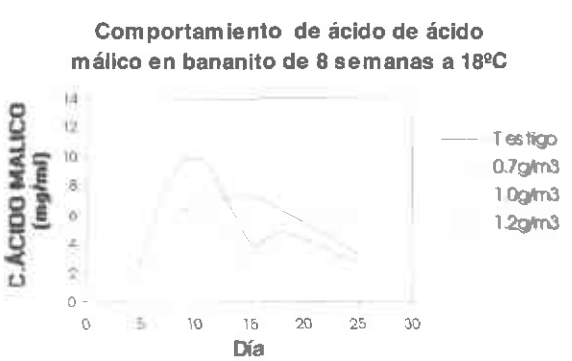


Figura 16. Ácido málico en bananito 8S-18ºC

Figura 17. Ácido málico en bananito 8S-27ºC

BIBLIOTE

Por el contrario en los bananitos tratados con 1-MCP, no hay una tendencia definida en los niveles de ácido málico durante todo su desarrollo, lo que indica alteración del metabolismo debido a los diferentes niveles de estrés que experimenta el bananito con los diferentes tratamientos.

Para los bananitos de 8 semanas de corte se presenta la misma alteración fisiológica, donde para los tratamientos de 0.7g/m³ y para 1.2g/m³ los niveles de ácido málico se muestran inferiores.

CARBOHIDRATOS

En las muestras estudiadas se analizaron los tres azúcares principales glucosa, fructosa y sacarosa, a continuación se presentan las gráficas No 18,19,20 que muestran el comportamiento del azúcar más importante en la degradación del almidón (principal material de reserva del metabolismo del fruto), la glucosa.

En todas las figuras la tendencia presentada por el testigo es un aumento debido a la degradación del almidón, alcanzando un máximo y posteriormente decrece cuando comienza la degradación y senescencia del fruto.

Para los bananitos de 7 semanas de corte con las diferentes dosis de 1-MCP , se observa un corrimiento del máximo de la concentración de la glucosa, lo que indica que el inhibidor logra retardar la degradación del almidón, pero no con un comportamiento normal pues no se logra relacionar este máximo con las mejores características organolépticas ni con el índice de respiración.

Para la mayoría de los tratamientos, se detecta una disminución en el nivel de glucosa en la pulpa, lo que se confirmó sensorialmente, percibiéndose una disminución de la dulzura del fruto.

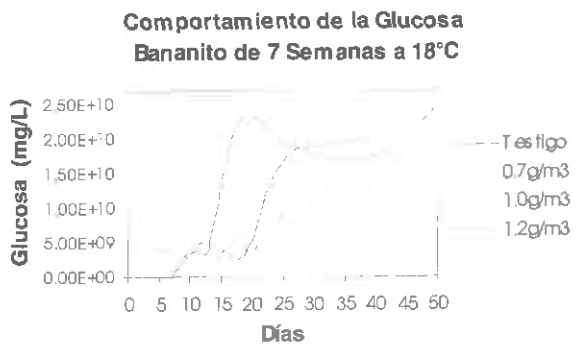


Figura 18. Glucosa en bananito de 7S-18ºC

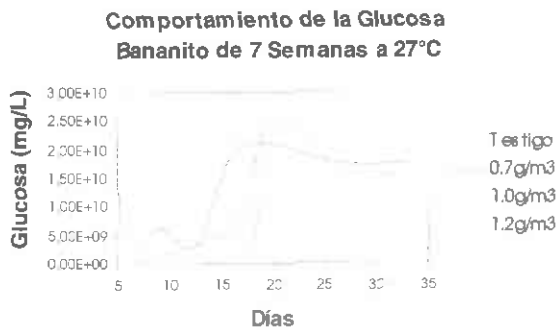


Figura 19. Glucosa en bananito de 7S-27ºC

Para el bananito de 8 semanas almacenado a 18ºC es más evidente la disminución de los niveles de concentración de glucosa.

CONCLUSIONES

✓ El efecto que el inhibidor de etileno1-Metilciclopropeno genera sobre el banano bocadillo es una alteración total del metabolismo, que no le permite llegar a la madurez normal, por lo cual se determina que en las condiciones trabajadas este

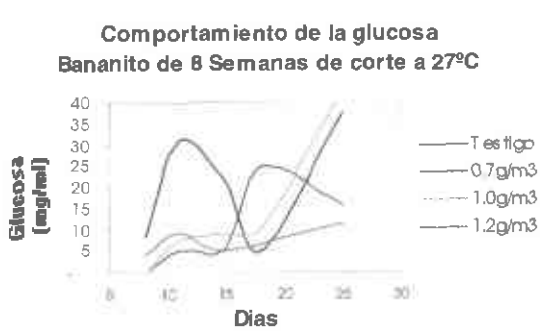


Figura 20. Glucosa en bananito de 8S-27ºC

inhibidor no presta una función útil en la conservación del bananito en poscosecha.

✓ No se encuentra diferencia significativa en el comportamiento del bananito entre las diferentes concentraciones usadas del inhibidor de etileno 1-MCP y en ninguno de los tratamientos se alcanza a observar el máximo climatérico.

✓ Sensorialmente, de acuerdo al panel de catadores, y a la estadística realizada con los datos obtenidos la *Calidad Total* se ve afectada pues en cuanto a dulzura, textura, apariencia, se presenta diferencia significativa comparados con los testigos. De acuerdo a las observaciones del panel entrenado pierde dulzura, se endurece el fruto en la parte central y la corteza se observa deteriorada sin alcanzar la madurez total.

✓ El ácido málico, que es el mayoritario del bananito en estado de madurez, no presenta una tendencia determinada en ninguno de los tratamientos lo que demuestra el desorden del metabolismo en el proceso de maduración.

✓ En el comportamiento de los azúcares se presentan tendencias muy alejadas de las del testigo y en la mayoría de casos las niveles son inferiores a los normales.

BIBLIOGRAFÍA

1. **DIETER, H.;GROSCH, W. 1988**. Química de los Alimentos.Acriba S.A.España.

2. **SISLER, E.; SEREK, M. DUPILLE E. 1996.** Comparision of Cyclopropene, 1-methylcyclopropene, and 3,3-dimethylcyclopropene as ethylene antagonists in plants". Plant growth regulations. 18

3. **SISLER, E.; SEREK, M. DUPILLE E. 19**96. Effect 1-Methylciclopropene and Methylclyclopropane on Ethylene Binding and Ethylene Action on Cut Carnations. 18

4. **PANTÁSTICO, E. 1979.** *Fisiología de la Postrecolección, Manejo* y Utilización de las Frutas y Hortalizas Tropicales y Subtropicales. Continental S.A.

5. **MORALES, G. 2001.** Comportamiento Fisiológico, Químico y Sensoríal del Bbanano Bocadillo (Musa x Paradisiaca L) Producido en algunas zonas del Departamento del Tolima. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia. Dpto de Química.

6. **PERYAM, D. 1990**. Sensory Evaluation the Early Day. Food techonogy. January.

7. **CONOVER, W. 1980**. Practical Nonparametric Statics. 2nd ed., Jonh Wiley and Sons, New York.

8. **PARRA, A.; HERNANDEZ, J. 1994.** Fisiología Postcosecha de Frutas y Hortalizas. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.

9. **ESKIN, M. 1990.** Biochemistry of Food. Academis press inc. USA.