



**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE
QUERETARO**



**DEPARTAMENTO DE INVESTIGACION
Y POSGRADO EN ALIMENTOS.**

FACULTAD DE QUIMICA

**DEPARTAMENTO DE INVESTIGACION Y
POSGRADO EN ALIMENTOS**

**PROGRAMA DE POSGRADO EN
ALIMENTOS DEL CENTRO DE LA
REPUBLICA
(PROPAC)**

**EFFECTO DE LA TEMPERATURA, COMPOSICION
ATMOSFERICA, GEOMETRIA Y VARIEDAD EN LA
CONSERVACION DE JICAMA MINIMAMENTE PROCESADA**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
MAESTRO EN CIENCIAS Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

PRESENTA

ELIA NORA AQUINO BOLAÑOS

SANTIAGO DE QUERETARO, QRO. DICIEMBRE DE 1998

No. Adq. H59353

No. Título _____

Clas. 664.028

A657e

BIBLIOTECA CENTRAL UAQ
"ROBERTO RUIZ OBREGON"

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE QUERETARO
FACULTAD DE QUIMICA
MAESTRIA EN CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

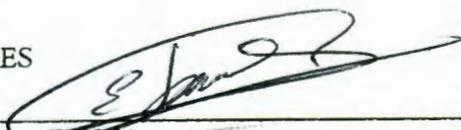
EFFECTO DE LA TEMPERATURA, COMPOSICION ATMOSFERICA,
GEOMETRIA Y VARIEDAD EN LA CONSERVACION DE JICAMA
MINIMAMENTE PROCESADA

TESIS
QUE COMO PARTE DE LOS REQUISITOS PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

PRESENTA
ELIA NORA AQUINO BOLAÑOS
DIRIGIDO POR
DRA. MARITA CANTWELL Y DR. EDMUNDO MERCADO SILVA

SINODALES

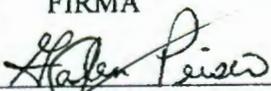
DR. EDMUNDO MERCADO SILVA
PRÉSIDENTE


FIRMA

DRA. MARITA CANTWELL
SECRETARIO


FIRMA

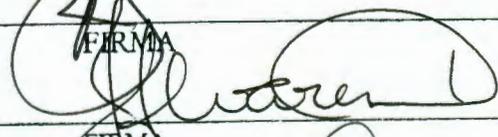
DR. GALEN PEISER
VOCAL

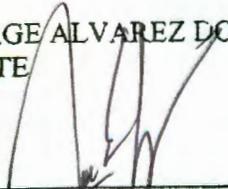

FIRMA

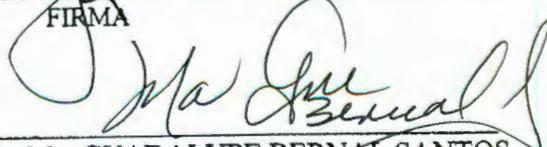
DR. SALVADOR PEREZ
SUPLENTE


FIRMA

M.C. JORGE ALVAREZ DOMINGUEZ
SUPLENTE


FIRMA


Q.M. J. MERCED ESPARZA GRACIA
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE QUIMICA


DRA. Ma. GUADALUPE BERNAL SANTOS
DIRECTOR DE INVESTIGACION Y POSGRADO

EL PRESENTE TRABAJO SE DESARROLLÓ EN EL MANN LABORATORY, VEGETABLE CROPS DEPARTMENT, DE LA UNIVERSIDAD DE CALIFORNIA EN DAVIS Y EN EL LABORATORIO DE FISIOLÓGIA Y BIOQUIMICA POSCOSECHA DE FRUTAS Y HORTALIZAS DEL DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO EN ALIMENTOS, DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO, BAJO LA DIRECCIÓN DE LA DRA. MARITA CANTWELL Y EL DR. EDMUNDO MERCADO SILVA.

DEDICATORIAS

A mis **padres** por su infinito amor hacia mí y porque con su ejemplo me ayudaron a alcanzar mis metas.

A mis hermanos **Roberto, René, Hilda, Edwin y Luisa** por brindarme su apoyo en todo momento.

A mis **compañeros del Laboratorio** de Fisiología y Bioquímica Poscosecha por brindarme su amistad.

A mis **compañeros de generación** con quienes comparé el reto de obtener el grado.

RESUMEN

La jícama (*Pachyrhizus erosus* (L.) Urban) es una leguminosa originaria de México. La raíz es consumida a nivel mundial principalmente como verdura fresca por su crujiente textura y succulenta pulpa blanca. Su comercialización y distribución como un producto listo para consumir no ha sido desarrollada. El objetivo de este trabajo fue determinar las condiciones de temperatura y atmósferas controladas potencialmente útiles para conservar la calidad de jícama mínimamente procesada.

Cilindros, discos y barras de jícama fueron cortados, sanitizados en una solución de cloro, y almacenados durante 5 y 10 días a temperaturas de 0, 5, 10, 12.5 y 15°C bajo una corriente de aire humidificado, evaluándose la tasa de respiración, calidad visual, oscurecimiento, presencia de pudriciones, deshidratación, cambios de la calidad sensorial y textura. Para evaluar la importancia del metabolismo de los fenil propanoides en el oscurecimiento de los cilindros de jícama se analizó la concentración de fenoles totales y la actividad de las enzimas fenil alanina amonio liasa (PAL) y polifenol oxidasa (PPO). Para evaluar el efecto de atmósferas controladas, se almacenaron cilindros de jícama de Nayarit y del Bajío durante 0, 4, 8 y 12 días a 5 y 10 °C en aire, 1, ó 3 % O₂ más 0, 5, 10 ó 20% CO₂; analizándose calidad visual, oscurecimiento, presencia de pudriciones, cambios de calidad sensorial, textura, y concentraciones de etanol y acetaldehído.

La velocidad de respiración de cilindros de jícama se incremento durante el almacenamiento y fué ligeramente mayor comparada con la raíz intácta. No se encontraron diferencias en la velocidad de respiración en las diferentes formas geométricas. El factor más importante para controlar el metabolismo de las piezas fue la temperatura, y la tasa de respiración fue la más baja a 0°C durante 10 días.

A temperaturas mayores de 5°C, el oscurecimiento fue el factor más importante que causó la pérdida de calidad durante el almacenamiento. La actividad de PAL aumentó antes que la concentración de los fenoles totales, los cuales fueron relacionados estrechamente con el oscurecimiento del tejido. Aunque la actividad de PPO se incrementó, no se relacionó con el progreso del oscurecimiento.

El almacenamiento en atmósferas con 5 ó 10% de CO₂ mantuvo el producto con mayor calidad sensorial que los tratamientos con aire o bajas concentraciones de O₂. Atmósferas con altas concentraciones de CO₂ retardaron el desarrollo del oscurecimiento en los cilindros de jícama, pero el factor más importante para conservar la calidad en cilindros fue la temperatura. En general, la vida útil de los cilindros fue mayor de 10 días a 0°C, 5 a 8 días a 5°C, y de 3 a 5 días a 10°C. A 5°C, las atmósferas con altas concentraciones de CO₂ extendieron la vida de anaquel aproximadamente un 50%. Los niveles de acetaldehído y etanol encontrados en cilindros de jícama no se correlacionaron con la producción de malos olores.

La jícama procedente del Bajío presentó una mayor susceptibilidad a la pérdida de calidad respecto de la jícama de Nayarit. Los cilindros preparados de jícamas almacenadas tuvieron menor calidad y vida útil que los cilindros de jícama sin almacenar.

Storage in controlled atmospheres with 5 or 10% CO₂ maintained higher sensory quality of the jicama pieces than storage in air or low O₂ concentrations. Atmospheres with high CO₂ concentrations retarded the development of browning, but the most important factor to conserve the quality of the jicama cylinders was temperature. In general, shelf-life was more than 10 days at 0°C, 5 to 8 days at 5°C, and 3 to 5 days at 10°C. At 5°C, atmospheres with high CO₂ concentrations extended shelf-life about 50%. The concentrations of acetaldehyde and ethanol in the cylinders were not correlated with the production of off-odors.

Cylinders prepared from jicama from the Bajío lost quality more rapidly during storage than pieces prepared from Nayarit roots. Cylinders prepared from stored roots had lower quality and less shelf-life than cylinders from unstored roots.

CONTENIDO

| | Página |
|---|--------|
| RESUMEN | I |
| SUMMARY | III |
| CONTENIDO | V |
| ÍNDICE DE CUADROS | X |
| ÍNDICE DE FIGURAS | XII |
| 1. INTRODUCCIÓN. | 1 |
| 2. ANTECEDENTES. | 4 |
| 2.1. Productos mínimamente procesados. | 4 |
| 2.1.1. Calidad de los productos mínimamente procesados. | 4 |
| 2.2. Efectos físicos y fisiológicos importantes del procesado mínimo. | 5 |
| 2.2.1. Efectos físicos del daño mecánico. | 5 |
| 2.2.2. Efectos fisiológicos del daño mecánico. | 5 |
| 2.2.2.1. Inducción de la síntesis de etileno. | 6 |
| 2.2.2.2. Degradación de la membrana lipídica. | 6 |
| 2.2.2.3. Incremento en la tasa de respiración. | 6 |
| 2.2.2.4. Oscurecimiento oxidativo. | 7 |
| 2.2.2.5. Cicatrización de heridas. | 8 |
| 2.2.2.6. Pérdida de agua. | 9 |

| | |
|---|----|
| 2.3. Control del deterioro de productos mínimamente procesados por temperatura y atmósferas modificadas. | 9 |
| 2.3.1. Efectos de la baja temperatura. | 9 |
| 2.3.1.1 Reducción de la velocidad metabólica. | 10 |
| 2.3.1.2. Prevención o reducción del desarrollo de flora microbiana. | 10 |
| 2.3.1.3. Disminución de la pérdida de agua. | 11 |
| 2.3.2. Efectos bioquímicos y fisiológicos de las atmósferas modificadas o controladas. | 11 |
| 2.3.2.1. Disminución del metabolismo respiratorio. | 12 |
| 2.3.2.2. Disminución del oscurecimiento en el tejido. | 14 |
| 2.3.2.3. Reducción de la pérdida de agua. | 15 |
| 2.3.2.4. Reducción de la biosíntesis y acción del etileno. | 15 |
| 2.3.2.5. Reducción del desarrollo microbiano. | 15 |
| 2.3.2.6. Disminución de la pérdida de firmeza. | 16 |
| 2.3.2.7. Atmósferas controladas y su relación con la temperatura. | 16 |
| 2.4. La jícama como producto potencial para procesado mínimo. | 17 |
| 2.4.1. Estudios poscosecha realizados con jícama como raíz intacta. | 17 |
| | |
| 3. OBJETIVO GENERAL | 21 |
| | |
| 4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 21 |
| | |
| 5. MATERIALES Y MÉTODOS. | 22 |
| 5.1. Origen de la raíz. | 22 |
| 5.2. Tratamiento de la raíz. | 22 |
| 5.3. Preparación de jícama mínimamente procesada. | 22 |
| 5.4. Experimentos realizados a distintas temperaturas. | 23 |
| 5.4.1. Efecto de la temperatura sobre la calidad global de jícama mínimamente procesada proveniente de la región del Bajío. | 23 |

| | |
|---|----|
| 5.4.2. Efecto de la temperatura sobre la tasa de respiración de jícama mínimamente procesada y jícama intacta. | 23 |
| 5.4.3. Efecto de la temperatura y la geometría de las piezas sobre la velocidad de respiración de jícama mínimamente procesada. | 26 |
| 5.4.4. Efecto de la temperatura sobre la producción de fenoles y la actividad de Fenilalanina amonio liasa (PAL) y Polifenol oxidasa (PPO). | 26 |
| 5.5. Experimentos con atmósferas controladas. | 27 |
| 5.5.1. Efecto de las atmósferas controladas sobre la calidad de jícama mínimamente procesada de Nayarit y del Bajío. | 27 |
| 5.5.2. Efecto de atmósferas controladas sobre la calidad de cilindros de jícama del Bajío almacenados a 5 y 10°C. | 28 |
| 5.5.3. Efecto de la temperatura sobre la calidad de cilindros de jícama de diferentes materiales genéticos. | 29 |
| 5.5.4. Influencia del tiempo de almacenamiento de la raíz intacta en la calidad de jícama mínimamente procesada. | 30 |
| 5.6. Métodos empleados. | 31 |
| 5.6.1. Medición de la concentración de gases. | 31 |
| 5.6.2. Escalas subjetivas de Calidad. | 32 |
| 5.6.3. Parámetros físicos. | 33 |
| 5.6.3.1. Color. | 33 |
| 5.6.3.2. Firmeza. | 34 |
| 5.6.4 Actividad enzimática y producción de fenoles totales. | 34 |
| 5.6.4.1. Actividad de PAL. | 34 |
| 5.6.4.2. Actividad de Polifenol oxidasa. | 35 |
| 5.6.4.3. Determinación de Fenoles. | 36 |
| 5.6.5. Producción de Etanol y Acetaldehído. | 37 |
| 5.6.6. Cuenta total en placa. | 38 |
| 5.7. Análisis estadístico. | 38 |

| | |
|---|----|
| 6. RESULTADOS | 39 |
| 6.1. Velocidad de respiración de jícama mínimamente procesada comparada con jícama intacta. | 39 |
| 6.2. Calidad de jícama mínimamente procesada almacenada a diferentes temperaturas. | 39 |
| 6.2.1. Cambios de calidad visual y color. | 39 |
| 6.2.2. Incidencia de microorganismos, sabor y superficie de deshidratación. | 43 |
| 6.2.3. Textura. | 43 |
| 6.3. Efecto de la geometría de las piezas sobre la velocidad de respiración. | 48 |
| 6.4. Actividad de Fenilalanina amonio liasa, producción de fenoles y actividad de polifenol oxidasa. | 48 |
| 6.4.1. Actividad de Fenilalanina amonio liasa. | 48 |
| 6.4.2 Producción de Fenoles y cambios de cromaticidad. | 51 |
| 6.4.3. Actividad de Polifenol oxidasa. | 51 |
| 6.5. Efecto de almacenamiento en Atmósferas controladas sobre la calidad de cilindros de jícama de dos zonas de producción (Nayarit y Bajío). | 53 |
| 6.5.1. Cambios de calidad visual. | 53 |
| 6.5.2. Oscurecimiento del tejido. | 53 |
| 6.5.3. Incidencia de microorganismos | 57 |
| 6.5.4. Presencia de mal olor. | 57 |
| 6.5.5. Cambios en sabor | 62 |
| 6.5.6. Textura. | 62 |
| 6.6. Efecto de Atmósferas controladas sobre la calidad de cilindros de jícama almacenados a 5 y 10°C. | 62 |
| 6.6.1. Cambios en calidad visual. | 62 |
| 6.6.2. Oscurecimiento del tejido. | 66 |
| 6.6.3. Desarrollo de microorganismos y cambios de sabor. | 66 |

| | |
|--|-----|
| 6.6.4. Textura. | 69 |
| 6.6.5. Producción de acetaldehído y etanol. | 69 |
| 6.7. Efecto de la temperatura y atmósferas controladas sobre la calidad de cilindros de jícama de diferentes variedades. | 73 |
| 6.7.1 Calidad visual. | 73 |
| 6.7.2. Oscurecimiento. | 75 |
| 6.7.3. Desarrollo de microorganismos. | 76 |
| 6.7.4. Cambios de color y textura. | 76 |
| 6.8. Efecto del almacenamiento de la jícama intacta sobre el producto mínimamente procesado. | 76 |
| 7. DISCUSIÓN. | 82 |
| 8. CONCLUSIONES | 90 |
| LITERATURA CITADA | 92 |
| APÉNDICE | 100 |

ÍNDICE DE CUADROS

| Cuadro | | Página |
|--------|--|--------|
| 1 | Condiciones de temperatura y atmósferas controladas para conservar hortalizas mínimamente procesadas. | 13 |
| 2 | Composición nutricional de jícama (<i>P. erosus</i> L. Urban). | 18 |
| 3 | Velocidad de respiración de raíz intacta y cilindros de jícama del Bajío almacenados a temperaturas de 0 a 15°C. | 41 |
| 4 | Angulo de matiz en cilindros de jícama del Bajío a 5 y 10 días de almacenamiento a diferentes temperaturas. | 45 |
| 5 | Distancia al punto de ruptura y fuerza de ruptura en cilindros de jícama del Bajío a 0, 5 y 10 días de almacenamiento en diferentes temperaturas, usando una sonda de 3 mm de diámetro. | 47 |
| 6 | Cuenta total en placa de cilindros de jícama de Nayarit y del Bajío almacenados a 5°C en diferentes atmósferas. | 60 |
| 7 | Distancia al punto de ruptura y fuerza de ruptura en cilindros de jícama de Nayarit y del Bajío a 0, 8 y 12 días de almacenamiento a 5°C en diferentes atmósferas, usando una sonda de 3 mm de diámetro. | 64 |
| 8 | Angulo de matiz en cilindros de jícama del Bajío a 12 días de almacenamiento a 5°C en diferentes atmósferas. | 68 |
| 9 | Distancia al punto de ruptura y fuerza de ruptura en cilindros de jícama del Bajío a 0, 8 y 12 días de almacenamiento a 5°C en diferentes atmósferas, usando una sonda de 5 mm. | 71 |

| | | |
|----|--|-----|
| 10 | Calidad visual, oscurecimiento, y pudriciones macroscópicas en cilindros de 6 variedades de jícama almacenados en diferentes condiciones. | 74 |
| 11 | Distancia al punto de ruptura (usando una sonda de 5 mm), cromaticidad y ángulo de matiz en cilindros de 6 variedades de jícama almacenados en diferentes condiciones. | 77 |
| C1 | Calidad visual en cilindros de diferentes variedades de jícama almacenados en diferentes condiciones. | 109 |
| C2 | Oscurecimiento en cilindros de diferentes variedades de jícama almacenados en diferentes condiciones. | 110 |
| C3 | Pudrición macroscópica en cilindros de diferentes variedades de jícama almacenados en diferentes condiciones. | 111 |
| C4 | Distancia al punto de penetración (mm) en cilindros de diferentes variedades de jícama almacenados en diferentes condiciones. | 112 |
| C5 | Cromaticidad en cilindros de diferentes variedades de jícama almacenados en diferentes condiciones. | 113 |
| C6 | Angulo de matiz en cilindros de diferentes variedades de jícama almacenados en diferentes condiciones. | 114 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| Figura | | Página |
|--------|---|--------|
| 1 | Experimentos realizados para evaluar el efecto de las bajas temperaturas en jícama intacta y mínimamente procesada. | 24 |
| 2 | Experimentos realizados para evaluar el efecto de atmósferas controladas sobre jícama mínimamente procesada, de diferentes áreas de producción y diferentes materiales genéticos. | 25 |
| 3 | Velocidad de respiración de cilindros (1.8 x 4 cm) y raíces intáctas de jícama del Bajío. | 40 |
| 4 | Calidad visual en cilindros (1.8 x 4 cm) de jícama del Bajío almacenados a diferentes temperaturas durante 10 días. | 42 |
| 5 | Oscurecimiento en cilindros de jícama de Nayarit (N) y del Bajío (B) almacenados durante 8 días a 5 y 13°C.. | 44 |
| 6 | Pudrición macroscópica (A) y sabor (B) en cilindros de jícama del Bajío almacenados a diferentes temperaturas. | 46 |
| 7 | Velocidad de respiración de cilindros (1.8 x 4 cm), barras (~1.5 x 4 cm) y discos (1.8 cm diámetro y 1 cm de espesor) de jícama del Bajío. | 49 |
| 8 | Actividad de Fenil alanina amonio liasa (PAL), Polifenol oxidasa (PPO), contenido de fenoles totales y cromaticidad en discos de jícama del Bajío, almacenados durante 9 días. | 50 |
| 9 | Oscurecimiento en discos de jícama almacenados a diferentes temperaturas durante 5 días. | 52 |
| 10 | Cambios de calidad visual en cilindros de jícama de Nayarit (N) ó del Bajío (B) almacenados a 5°C en diferentes atmósferas. | 54 |

| | | |
|----|--|----|
| 11 | Presencia de oscurecimiento en cilindros de jícama de de Nayarit (N) o del Bajío (B) almacenados a 5°C en diferentes atmósferas. | 55 |
| 12 | Oscurecimiento en cilindros de jícama de Nayarit almacenados a 5°C en atmósferas de aire y 10% CO ₂ . | 56 |
| 13 | Presencia de pudrición macroscópica en cilindros de jícama de Nayarit (A) o del Bajío (B) almacenados a 5°C en diferentes atmósferas. | 58 |
| 14 | Presencia de pudrición macroscópica en cilindros de jícama del Bajío almacenados a 5°C en atmósferas de aire y 10% CO ₂ . | 59 |
| 15 | Desarrollo de mal olor en cilindros de jícama de Nayarit (A) o del Bajío (B) almacenados a 5°C en diferentes atmósferas. | 61 |
| 16 | Cambios de sabor en cilindros de jícama de Nayarit (A) o del Bajío (B) almacenados a 5°C en diferentes atmósferas. | 63 |
| 17 | Cambios de calidad visual en cilindros de jícama del Bajío, almacenados a 5°C (A) y 10°C (B) en diferentes atmósferas. | 65 |
| 18 | Presencia de oscurecimiento en cilindros de jícama del Bajío, almacenados a 5°C (A) y 10°C (B) en diferentes atmósferas. | 67 |
| 19 | Desarrollo de pudrición macroscópica (A) y cambios de sabor (B) en cilindros de jícama almacenados a 5°C en diferentes atmósferas. | 70 |
| 20 | Producción de acetaldehído (A) y etanol (B) en cilindros de jícama almacenados a 5°C en diferentes atmósferas. | 72 |
| 21 | Cambios de calidad visual en cilindros obtenidos de jícama de Michoacán sin almacenar (A) y almacenada durante 15 días (B) a temperatura ambiente. | 79 |

| | | |
|----|---|-----|
| 22 | Distancia y fuerza al punto de penetración en cilindros obtenidos de jícama de Michoacán sin almacenar (A y C) y almacenada durante 15 días (B y D) a temperatura ambiente. | 80 |
| 23 | Cromaticidad y ángulo de matiz en cilindros obtenidos de jícama de Michoacán sin almacenar (A y C) y almacenada durante 15 días (B y D) a temperatura ambiente. | 81 |
| A1 | Curva de calibración para determinar la actividad de PAL. | 101 |
| A2 | Curva estándar para determinar la concentración de fenoles totales. | 102 |
| A3 | Curva estándar para determinar la concentración de acetaldehído. | 103 |
| A4 | Curva estándar para determinar la concentración de etanol | 104 |
| B1 | Correlación de cromaticidad y contenido de fenoles totales en discos de jícama almacenados a 5°C. | 105 |
| B2 | Correlación de cromaticidad y contenido de fenoles totales en discos de jícama almacenados a 7.5°C. | 106 |
| B3 | Correlación de cromaticidad y contenido de fenoles totales en discos de jícama almacenados a 10°C. | 107 |
| B4 | Correlación de cromaticidad y contenido de fenoles totales en discos de jícama almacenados a 5, 7.5 y 10 °C. | 108 |

1. INTRODUCCIÓN.

La jícama (*Pachyrhizus erosus* (L.) Urban) es una leguminosa tropical originaria de México y América Central, fue cultivada por las culturas mesoamericanas como la Maya y Azteca. Los primeros exploradores españoles y portugueses la llevaron a varias regiones de Latinoamérica y a muchas islas del Pacífico como las Filipinas y de allí se extendió a Oceanía y Asia. Actualmente se cultiva en México, Brasil, Estados Unidos (Florida y Hawaii), China, Indonesia, Filipinas y Nigeria, pero en casi todos los casos se trata de un cultivo subexplotado (Sørensen, 1996; Casanueva, 1995; Fernández et al., 1996).

Entre las especies del género *Pachyrhizus* cultivadas actualmente, además de *P. erosus*, se encuentran *P. ahipa* (domesticada en Bolivia y el norte de Argentina) y *P. tuberosus* (domesticada en Brasil) y dos especies silvestres *P. panamensis* y *P. ferrungineous* que son encontradas en México y América Central (Rubatzky y Yamaguchi, 1997).

Estudios experimentales en la región del Bajío de México han demostrado que *Pachyrhizus erosus* es una de las especies más eficientes en términos de fijación biológica de nitrógeno, fijando de 162 a 215 Kg N /ha, por lo que es una parte integral de los sistemas de cultivo en México (Castellanos et al., 1996).

En la actualidad su cultivo se encuentra ampliamente distribuido en la República Mexicana bajo diferentes sistemas de producción, adquiriendo cada vez mayor importancia debido al creciente aumento en las exportaciones realizadas principalmente a los Estados Unidos de Norteamérica (Heredia-Zepeda y Heredia-García, 1994). En el año agrícola de 1996 se produjeron un total de 99 907 ton, los estados con mayor producción fueron Nayarit (26%), Morelos (22.5%), Guanajuato (20.5%), y Michoacán (17.3%) con una producción de 26, 22, 20 y 17

miles de toneladas respectivamente, lo que representa un 86% con respecto a la producción nacional (Centro de Estadística Agropecuaria, 1996).

En el aspecto socioeconómico, este cultivo resulta importante debido a que aproximadamente un 50% de los productores corresponden a familias de escasos recursos económicos; la explotación de este producto se realiza hasta cierto punto bajo el sistema de producción tradicional en asociación con maíz y frijol, dicho sistema brinda al campesino la oportunidad de obtener productos para autoconsumo antes de efectuarse la cosecha del cultivo principal; posteriormente con la venta de la jícama, se obtienen ingresos para conseguir otros satisfactores (Heredia-Zepeda y Heredia-García, 1994).

El consumo de jícama se realiza en diferentes formas: (i) como producto fresco, los tubérculos son cortados en tiras y se les adiciona jugo de limón y chile; (ii) como una hortaliza fresca, las rebanadas se usan en diferentes ensaladas; (iii) mezclada con otras verduras se utiliza para la preparación de sopas; (iv) como rebanadas fritas o (v) cortada en diferentes formas puede ser conservada en vinagre con cebolla y chile. En otros países los usos también son múltiples, uno de ellos es como sustituto de la comida china por su gran similitud en cuanto a sabor con la castaña de agua (*Eleocharis dulcis*) (Casanueva, 1995; Sørensen, 1996; Rubatzky y Yamaguchi, 1997).

Una forma de incrementar su comercialización así como también darle un valor agregado a la jícama es ofrecerla como producto mínimamente procesado. Estos productos son frutas y verduras listos para consumo los cuales no han sido cocinados, enlatados, congelados, secados o sometidos a algún otro proceso para conservarlos por largo tiempo (USDA, 1993). Para estos productos se requiere de mínima o nula preparación adicional por parte del consumidor; entre los más comunes se encuentran hortalizas cortadas en diferentes formas y tamaños, tales como: lechuga, zanahoria, calabacita, y ensaladas mixtas (Cantwell, 1998a).

Los productos mínimamente procesados son más perecederos que los intactos por lo cual se utilizan comúnmente dos herramientas para su conservación, la disminución de temperatura y la modificación de la atmósfera; el primer punto se logra por medio de la refrigeración; mientras que el segundo con el uso de películas que presenten una difusibilidad específica a los gases de O₂ y CO₂. Para la aplicación de estos procesos es necesario determinar la temperatura óptima de almacenamiento y las atmósferas potencialmente útiles para conservar su calidad.

Los productos mínimamente procesados han estado disponibles por muchos años, pero sus tipos y cantidades se han incrementado desde la década pasada, ya que inicialmente, este tipo de productos estaba enfocado principalmente a la industria del servicio de alimentos. En la actualidad su uso se ha expandido a restaurantes, supermercados y tiendas de almacén. Estos productos tienen amplia aceptación en países como los Estados Unidos, Francia, Reino Unido y Holanda entre otros (Watada et al., 1996).

Entre las ventajas potenciales que los productos mínimamente procesados ofrecen al consumidor se pueden mencionar: el incremento al acceso a frutas y hortalizas saludables, el no utilizar aditivos o conservadores, la facilidad para almacenar en su empaque y la disminución del espacio de almacenamiento utilizado, la reducción en el tiempo de su preparación y el proporcionar una calidad más uniforme y consistente de los alimentos, así como también reducir el desperdicio para el consumidor (Cantwell, 1998a).

Este trabajo tuvo el interés de investigar los efectos de la temperatura, la geometría y las atmósferas controladas para conocer los factores básicos que permitan establecer las condiciones de la aplicación de la tecnología de productos mínimamente procesados en raíces de jícama procedente de Nayarit y del Bajío Mexicano.

2. ANTECEDENTES.

2.1. Productos mínimamente procesados.

Los productos mínimamente procesados también llamados ligeramente procesados, parcialmente procesados, procesados frescos y precortados, son frutas y hortalizas las cuales han sido preparadas para uso inmediato de la industria del servicio de alimentos o el consumidor (Cantwell, 1998a). Las operaciones que involucran un procesamiento mínimo o ligero son los procedimientos de lavar, clasificar, mondar, deshojar, pelar o rebanar manteniendo siempre una calidad similar a una fruta u hortaliza fresca (Burns, 1995).

2.1.1. Calidad de los productos mínimamente procesados.

La calidad de las frutas y verduras mínimamente procesadas es una combinación de atributos que determinan su valor como alimento humano. Estos factores de calidad incluyen: apariencia visual (frescura, color, defectos y pudriciones), textura (crujencia, jugosidad, firmeza, integridad del tejido), sabor, olor, valor nutritivo (vitaminas A y C, minerales y fibra dietaria) y seguridad (ausencia de residuos químicos y contaminación microbiana). La calidad de los productos mínimamente procesados depende de la calidad del producto intacto o materia prima, de la preparación y de las condiciones en que se maneje hasta llegar al consumidor (Kader y Mitcham, 1996).

Los factores genéticos, las condiciones de precosecha, el estado de madurez, el manejo entre la cosecha y la preparación son factores que influyen en la composición y calidad de los frutos intactos, los cuales a su vez son utilizados como materia prima en la elaboración de los productos mínimamente procesados.

2.2. Efectos físicos y fisiológicos importantes del procesado mínimo.

La preparación de frutas y verduras mínimamente procesadas implican daño físico del tejido, este proceso inherente provoca una serie de respuestas físicas y fisiológicas que incrementan la velocidad de deterioro de estos productos (Cantwell, 1998b).

Una célula vegetal contiene muchos compuestos que son conservados en compartimentos separados por membranas semipermeables; el corte no solo daña físicamente estas membranas, también cambia sus funciones; así compuestos inicialmente compartimentalizados, con el corte se mezclan y producen reacciones indeseables e incontrolables. Por ejemplo, los compuestos fenólicos de la vacuola se mezclan con las enzimas en el citoplasma para producir compuestos coloreados y con ello el oscurecimiento del tejido (Saltveit, 1998 ; Brecht, 1995).

2.2.1. Efectos físicos del daño mecánico.

El efecto físico inmediato del acto mecánico de corte en el tejido, es la remoción de la capa epidérmica protectora, liberación de fluidos intercelulares a la superficie y exposición del tejido a los contaminantes. Posteriormente, cuando el agua de la superficie se evapora y el tejido empieza a responder fisiológicamente, hay una alteración en la difusión de gas y en la apariencia de la superficie (Saltveit, 1998).

2.2.2. Efectos fisiológicos del daño mecánico.

El daño afecta una serie de procesos fisiológicos y bioquímicos. En segundos, hay una señal en el tejido dañado que se propaga al tejido adyacente e induce respuestas en cadena que disminuyen la calidad de los productos mínimamente procesados. Las principales respuestas son:

2.2.2.1. Inducción de la síntesis de etileno.

Una respuesta rápida al daño es el incremento en la velocidad de respiración y producción de etileno, estos aumentos se pueden inducir a través de una mezcla no controlada de componentes celulares (por ejemplo con el cambio en la permeabilidad de las membranas) o a través de mecanismos controlados de reparación celular (Saltveit, 1998). Un ejemplo es el tomate que al ser cortado en pequeñas rodajas (1 cm) incrementa su producción de etileno hasta 20 veces comparado con el tomate entero (Watada et al., 1990). Un comportamiento similar se observó en discos de kiwi almacenados a 20°C que después de 2-4 horas del corte presentaron una producción de etileno 7 veces mayor que en kiwi intacto (Varoquaux et al., 1990). Rosen y Kader, (1989) encontraron un incremento de etileno 4 veces mayor en fresa cortada en rebanadas que en fresa intacta.

2.2.2.2. Degradación de la membrana lipídica.

El daño en el tejido de las plantas durante la preparación de productos mínimamente procesados puede causar una degradación de los lípidos de la membrana (Rolle y Chism, 1987); donde también puede ocurrir una degradación enzimática, causando pérdidas de componentes lipídicos y pérdida de compartimentalización de enzimas y sustratos. Las reacciones enzimáticas catalizadas por la enzima acil lipido hidrolasa y fosfolipasa D liberan ácidos grasos de la membrana lipídica; estos ácidos grasos libres son tóxicos para muchos procesos celulares y son capaces de causar lisis en los organelos e inactivar proteínas (Brecht, 1995).

2.2.2.3. Incremento en la tasa de respiración.

La respiración en los productos mínimamente procesados generalmente aumenta, tal es el caso de zanahoria que al ser cortada en tamaños de 2 pulgadas, su respiración aumenta del 25 al 50%; o en el caso de lechuga que

aumenta de 2-3 veces su tasa de respiración. La velocidad de respiración de zanahoria pelada entera fue de $6 \mu\text{l}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$, mientras que cortada en forma de discos o tiras su velocidad se incrementa a 8 y $12 \mu\text{l}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$, en col también se incrementa su velocidad de respiración a 6, 13 y $17 \mu\text{l}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$, al ser cortada en cuartos, tiras de 0.5×3 cm ó en tiras de 0.25×1.5 cm respectivamente (Cantwell, 1998b). Con lo cual podemos observar que el grado de daño también es un factor que influye en la velocidad de respiración de los productos mínimamente procesados. Es decir a mayor número de piezas o menor tamaño de ellas hay siempre una tasa de respiración mayor.

Una velocidad de respiración más alta indica un metabolismo más rápido. Dado que el resultado final de la actividad respiratoria es el deterioro del producto y senescencia, es deseable alcanzar una velocidad de respiración tan baja como sea posible sin arriesgar el daño o muerte en el tejido. Para lograr esto, se recurre principalmente a las bajas temperaturas y/o a la modificación de las atmósferas.

2.2.2.4. Oscurecimiento oxidativo.

El cambio de color es uno de los principales problemas y de hecho uno de los factores limitantes que presentan los productos mínimamente procesados; ocurre en la superficie de corte como resultado del rompimiento de las células que son dañadas, permitiendo que sustratos y oxidantes se pongan en contacto. El daño también induce la síntesis de algunas enzimas involucradas en reacciones o biosíntesis de sustratos (Rolle y Chism, 1987).

En muchos casos la síntesis, oxidación y polimerización de los fenoles son los factores a los que se ha atribuido el cambio de color. La enzima fenilalanina amonio liasa (PAL) cataliza la reacción principal en el metabolismo de los fenil propanoides (Ke y Saltveit, 1989). El oscurecimiento ocurre cuando los productos del metabolismo de los fenil propanoides, como los fenoles y posiblemente otros sustratos (por ejemplo las antocianinas) se oxidan en

reacciones catalizadas por fenolasas, como polifenol oxidasa o peroxidasas (Hanson y Havir, 1979). La correlación de síntesis de fenoles y cambios de color han sido descritas en varios trabajos. Hyodo et al. (1978) encontraron una alta correlación entre la actividad de PAL, inducida por etileno, y la aparición del moteado oscuro en hojas de lechuga. López-Gálvez et al. (1996) también encontraron que la actividad de esta enzima se incrementó de 2.5-3 veces a 5 y a 15°C respectivamente, reduciendo el tamaño de piezas de lechuga de 2.5 x 15 a 0.5 x 1 cm, este incremento de la actividad de PAL se correlacionó con un mayor oscurecimiento.

2.2.2.5. Cicatrización de heridas.

En respuesta al daño, las plantas sintetizan una serie de compuestos secundarios, muchos de los cuales parecen estar relacionados con la reparación del daño o como un mecanismo de defensa contra el ataque de microorganismos e insectos. Los compuestos secundarios que se producen depende de la planta y el tejido involucrado. En ciertos casos estos compuestos pueden afectar el aroma, sabor, apariencia, valor nutritivo o seguridad de los productos mínimamente procesados. Los compuestos producidos por frutas y hortalizas dañadas incluyen fenoles, flavonoides, alcaloides, taninos, ácidos grasos y alcoholes de cadena larga (Miller, 1992).

La cicatrización de heridas se refiere a la producción de suberina y lignina en las paredes celulares del sitio del daño, seguido por una división celular para formar un peridermo (Burton, 1982). El primer cambio observable en la superficie del corte es la deshidratación de la primera capa de las células rotas (Brecht, 1995). La suberización de las células cercanas ocurre en muchos tejidos, como los de la papa, la yuca (*Dioscorea spp*), el camote (*Ipomea batatas L*) y la zanahorias (*Daucus carota L.*) (Kolattukudy, 1984).

2.2.2.6. Pérdida de agua.

El tejido de los vegetales está en equilibrio con una atmósfera a la misma temperatura y humedad relativa interna estimada en los tejidos vegetales de 99% a 99.5% (Burton, 1982). La reducción de la presión de vapor de agua en la atmósfera comparada con la del tejido provoca la pérdida de agua. En órganos intactos, el agua de los espacios intercelulares no está directamente expuesta a la atmósfera exterior; sin embargo, el corte o eliminación de la cáscara expone el interior del tejido y drásticamente se incrementa la velocidad de evaporación de agua. La diferencia de la velocidad de pérdida de agua entre la superficie de plantas intactas y dañadas varía de 5 a 500 veces dependiendo de si la superficie es o no suberizada (Brecht, 1995).

Es importante evitar la deshidratación de la superficie del producto cortado para mantener la apariencia visual aceptable.

2.3. Control del deterioro de productos mínimamente procesados por temperatura y atmósferas modificadas.

2.3.1. Efectos de la baja temperatura.

Los productos mínimamente procesados son más perecederos que los productos intactos debido a que están sujetos a estrés físico severo, causado por las operaciones unitarias de pelar y cortatar, con la consecuente remoción de las células epidérmicas protectoras. En consecuencia, los productos mínimamente procesados deben de conservarse a temperaturas más bajas que las recomendadas para los productos intactos. Aunque 0°C es la temperatura deseada para estos productos, a nivel comercial la mayoría son almacenados a 5° o incluso hasta 10°C (Watada et al., 1996).

La pérdida de la calidad se retrasa al disminuir la temperatura del tejido a un punto justo por encima de la temperatura de congelación de tejidos no sensibles al daño por frío (Schlimme, 1995). En los productos sensibles al daño por frío, el almacenamiento a temperaturas similares parece también mantener mejor calidad en los productos precortados.

Las razones por las cuales la baja temperatura disminuye la velocidad de deterioro de todo tejido vivo son las siguientes:

2.3.1.1 Reducción de la velocidad metabólica.

Incluyendo la respiración y la actividad enzimática; por ello es deseable alcanzar una velocidad de respiración tan baja como sea posible sin producir daño o muerte en el tejido. La actividad enzimática es función directa de la temperatura, por ejemplo Hyodo et al. (1978) encontraron en tejido de lechuga que la actividad de PAL disminuye al disminuir la temperatura, en un periodo de 8 días de almacenamiento a 12.5°C, la actividad fue de 0.7 unidades, mientras que a 0.5°C se mantuvo casi constante en 0.15 unidades durante el mismo periodo de almacenamiento.

2.3.1.2. Prevención o reducción del desarrollo de flora microbiana.

Para su desarrollo los microorganismos requieren de agua y nutrientes, los cuales están presentes en los productos mínimamente procesados; la temperatura y la humedad relativa son los factores que más afectan el desarrollo de la microflora dentro de un empaque (Brackett, 1987). Los microorganismos tienen una temperatura óptima para su desarrollo y también un intervalo en el cual se pueden desarrollar. El crecimiento de microorganismos mesófilos puede ser controlado con la disminución de la temperatura por debajo de 5°C, sin embargo, existen microorganismos psicrófilos los cuales se desarrollan a bajas

temperaturas, entre ellos están *Listeria monocytogenes* que se desarrolla en espárragos sin ningún signo asociado a la pudrición (Berrang et al., 1989).

2.3.1.3. Disminución de la pérdida de agua.

La pérdida de agua se da como resultado de un gradiente de vapor de agua entre la atmósfera saturada interna (dentro de los espacios intercelulares) y la atmósfera externa menos saturada. El vapor de agua migra hacia la concentración más baja, principalmente a través de las aperturas de la superficie, pero también a través de la superficie de daño. La velocidad de migración es función de la resistencia de la epidermis del producto, en particular al movimiento del vapor de agua y la diferencia de presión de vapor entre el producto y su medio ambiente; el cual es gobernado por la temperatura y humedad relativa. Por lo tanto el mantener baja la temperatura es un factor esencial para reducir la pérdida de agua y evitar la deshidratación (Thompson, 1992).

2.3.2. Efectos bioquímicos y fisiológicos de las atmósferas modificadas o controladas.

Una atmósfera modificada (AM) o controlada (AC) es aquella en la cual su composición es diferente a la del aire (78.08 % N₂, 20.95% O₂, 0.03% CO₂), usualmente involucra una reducción de la concentración de oxígeno y/o un incremento de la concentración de dióxido de carbono, la diferencia entre una atmósfera controlada y modificada es el grado de control (Kader, 1986b).

Después de la disminución de la temperatura de los productos, el envasado en atmósferas modificadas (AM) se considera como el segundo factor más eficaz para prolongar la conservación de los productos mínimamente procesados. La utilización de películas poliméricas permeables para modificar la concentración de la atmósfera interior de un envase, ofrece grandes posibilidades de alcanzar este objetivo. Para el diseño de una atmósfera modificada adecuada, se debe conocer la velocidad de consumo de oxígeno y la producción de dióxido

de carbono, así como también la tolerancia de los productos envasados a los niveles de CO₂ y O₂ (Solomos, 1997).

El beneficio o daño potencial del uso de atmósferas controladas o modificadas depende del producto, variedad, edad fisiológica (estado de madurez), calidad inicial, composición atmosférica, temperatura, y tiempo de exposición a tales condiciones. Generalmente las atmósferas que son benéficas a los productos mínimamente procesados, contienen de 2-8% de oxígeno y de 5-15% de dióxido de carbono (Cuadro1).

Las atmósferas controladas o modificadas se han utilizado como un complemento al manejo adecuado de la temperatura, y su efecto puede traer consigo una menor pérdida de la calidad en los productos mínimamente procesados.

2.3.2.1. Disminución del metabolismo respiratorio.

Bajando el nivel de O₂ atmosférico, las frutas y verduras frescas reducen su respiración en forma proporcional a la concentración de O₂, pero se requiere de un mínimo de 1 % O₂ (dependiendo del fruto) para evitar el cambio de respiración aerobia a anaerobia. Bajo condiciones de anaerobiosis, la vía de la glicólisis se ve incrementada y el ciclo de Krebs se ve inhibido alterándose la principal fuente de energía necesaria para las plantas. El ácido pirúvico se descarboxila para producir acetaldehído, etanol y CO₂, lo que produce olores desagradables y daño del tejido. Una concentración de oxígeno de 1-3% alrededor del producto, puede generar un gradiente de concentración al interior del mismo que provoque una concentración en el interior de las células de 0.2%; condición a la cual ocurre la respiración anaerobia. Esta condición puede darse en función de la tasa de respiración del producto, las características de difusión del tejido y la temperatura de almacenamiento.

Cuadro 1. Condiciones de temperatura y atmósferas controladas para conservar hortalizas mínimamente procesadas.

| Producto mínimamente procesado. | Temperatura (°C) | Atmósfera | | Eficacia |
|----------------------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| | | % O ₂ | % CO ₂ | |
| Betabel (rojo), cubos o pelado | 0-5 | 5 | 5 | moderada |
| Brócoli, flores | 0-5 | 2-3 | 6-7 | buena |
| Cebollas, rodajas o cubos | 0-5 | 2-5 | 10-15 | buena |
| Champifiones, rebanados | 0-5 | 3 | 10 | no recomendado |
| Chile, cubos | 0-5 | 3 | 5-10 | moderado |
| Col (china), rebanada | 0-5 | 5 | 5 | moderada |
| Col, rebanada | 0-5 | 5-7.5 | 15 | buena |
| Espinaca, sanitizada | 0-5 | 0.8-3 | 8-10 | moderado |
| Lechuga (hoja roja), cortada | 0-5 | 0.5-3 | 5-10 | buena |
| Lechuga (hoja verde), cortada | 0-5 | 0.5-3 | 5-10 | buena |
| Lechuga (Iceberg), cortada | 0-5 | 0.5-3 | 10-15 | buena |
| Lechuga (romana), cortada | 0-5 | 0.5-3 | 5-10 | buena |
| Papas, rodajas o peladas enteras | 0-5 | 1-3 | 6-9 | buena |
| Tomate, rodajas | 0-5 | 3 | 3 | moderado |
| Zanahoria, rebanadas o discos | 0-5 | 2-5 | 15-20 | buena |

Fuente: Gorny, 1997.

Concentraciones elevadas de CO₂ también reducen la velocidad de respiración de frutas y hortalizas, pero concentraciones mayores del 20% provocan la acumulación de productos de la fermentación (Kader, 1986a; Kader, 1986c; Kader et al., 1989; Kennedy et al., 1992).

Se ha observado que el consumo de O₂ y la producción de CO₂ de zanahoria mínimamente procesada fueron menores a concentraciones bajas de O₂ comparadas con atmósferas de aire; bajo estas condiciones se observó un aumento de la actividad de PPI-fosfofructocinasa, lo que podría indicar que éste es un punto de control en la ruta de la glicólisis en atmósferas con baja concentración de oxígeno (Kato y Watada, 1996).

Las exposiciones a bajas concentraciones de O₂ y/o altas concentraciones de CO₂ cambian el pH intracelular, el cual es importante en la regulación del metabolismo de frutas y hortalizas. Hess et al. (1993) encontraron una disminución del pH de 6.9 a 6.3 en discos de aguacate como respuesta a la alta concentración de CO₂.

2.3.2.2. Disminución del oscurecimiento en el tejido.

La disminución del O₂ en las atmósferas de almacenamiento reduce la velocidad de las oxidaciones catalizadas por enzimas, ya que el oxígeno constituye uno de los sustratos (Murr y Murriss, 1974). Las enzimas responsables del oscurecimiento en los tejidos vegetales, polifenoloxidasas y tirosinasa, presentan una escasa afinidad por el oxígeno en comparación con la citocromo oxidasa, por lo que al bajar la concentración de 20% a 5-8% ésta disminuye su actividad (Varocuaux y Varocuaux 1990)

Buescher y Henderson (1977) encontraron que el CO₂ puede inhibir la actividad de la polifenol oxidasa y que concentraciones de 10-30% de CO₂ retrasaron el oscurecimiento en tejido de ejotes verdes dañados mecánicamente

con una disminución en el contenido de fenoles. El efecto de concentraciones altas de CO₂ sobre la inhibición en la producción de fenoles, y la actividad de polifenol oxidasa, y por consiguiente el oscurecimiento, también fue observado en tejido de lechuga (Siriphanich y Kader, 1985; Mateos et al., 1993).

En algunos casos el uso de atmósferas controladas se combina con otros métodos para disminuir el oscurecimiento como es el tratamiento con ácido ascórbico. Para disminuir el oscurecimiento enzimático en tiras de papa, por una semana a 5°C, se requiere de su inmersión en una solución de ácido ascórbico al 10% y la aplicación de 3-4% de CO₂ y 1-2% O₂ (O'Beirne y Ballantyne, 1987).

2.3.2.3. Reducción de la pérdida de agua.

Con el empaque en atmósferas modificadas se mantiene una alta humedad relativa en el medio ambiente que rodea al producto. Cisneros-Zevallos et al. (1995) demostraron que seleccionando un empaque apropiado se puede reducir la capa blanca, formada a causa de la deshidratación, en la superficie de zanahorias peladas.

2.3.2.4. Reducción de la biosíntesis y acción del etileno.

Concentraciones bajas de O₂ y elevadas de CO₂ también inhiben significativamente la producción y los efectos del etileno. El daño ocasionado al tejido durante el corte, provoca inmediatamente la inducción de síntesis de etileno, por lo cual es importante generar rápidamente un ambiente de atmósferas modificadas para reducir los efectos del etileno (Gorny, 1997).

2.3.2.5. Reducción del desarrollo microbiano.

Los ambientes con concentraciones bajas de oxígeno y elevadas de dióxido de carbono tienen influencia en la velocidad de desarrollo y tipo de

microorganismos que proliferan en un producto mínimamente procesado. Concentraciones elevadas de CO₂ ($\geq 10\%$) son fungistáticas, retrasan el ablandamiento del tejido (Madrid y Cantwell, 1993) y aumentan la resistencia a pudriciones. Sin embargo, no disminuyen el desarrollo de patógenos por lo tanto, no es un sustituto de un manejo apropiado de temperatura ni de buenas prácticas de manufactura y sanidad (Beuchat y Brackett, 1990).

2.3.2.6. Disminución de la pérdida de firmeza.

Otro de los beneficios potenciales que ha mostrado el uso de las atmósferas controladas es la disminución en la pérdida de firmeza. Las concentraciones altas de CO₂ retrasaron el ablandamiento en chirimoya, al disminuir la actividad de la poligacturonasa (Del Cura et al., 1996). Así mismo, se ha reportado una disminución de la pérdida de firmeza en rebanadas de fresa y pera cuando fueron almacenadas en atmósferas de aire + 12% de CO₂ y en 0.5% de O₂, respectivamente (Rosen y Kader, 1989).

2.3.2.7. Atmósferas controladas y su relación con la temperatura.

Las frutas y hortalizas frescas varían grandemente en su tolerancia relativa a las concentraciones bajas de oxígeno y elevadas de CO₂. Los límites de tolerancia pueden ser diferentes a temperaturas arriba o abajo de las temperaturas recomendadas para cada producto. La concentración límite de tolerancia a bajo oxígeno podría ser más alto si se incrementa la temperatura de almacenamiento y el tiempo de exposición debido a que los requerimiento de O₂ para la respiración aeróbica del tejido se incrementan a temperaturas más altas. Dependiendo del producto, el daño asociado con el CO₂ puede incrementarse o disminuirse con un incremento en la temperatura. La producción de CO₂ se incrementa con la temperatura, y su solubilidad disminuye; entonces el CO₂ en el tejido puede aumentar a temperaturas altas (Kader, 1986c). Los productos mínimamente procesados tienen menos barreras a la difusión de gas, y

consecuentemente toleran concentraciones más altas de CO₂ y más bajas de O₂ que los productos intactos (Watada et al., 1996).

2.4. La jícama como producto potencial para procesado mínimo.

La parte más importante de la jícama es la raíz, su parte comestible, la cual tiene una corteza delgada y fácilmente desprendible, y cuyo color varía de café oscuro a café claro; en su interior, la pulpa es de color blanco, de textura crujiente y succulenta y sabor ligeramente dulce, por lo que es consumida principalmente como hortaliza fresca (Casanueva, 1995; Rubatzky y Yamaguchi, 1997).

La composición de la raíz se muestra en el Cuadro 2; Casanueva (1995); Lynd y Purcino (1987) reportaron que la cantidad de proteína que esta raíz tiene es de 3 a 5 veces el valor de otras raíces como papa, camote o la yuca. Los ensayos biológicos de la eficiencia nutricional del almidón mostraron que la digestibilidad de éste es del 100%, debido a que es fácilmente degradado por hidrólisis enzimática (Mélo et al., 1994). Su contenido en vitamina C es apreciable si se compara con otras fuentes como pitahaya, plátano macho, o sandía (Instituto Nacional de la Nutrición, 1992).

2.4.1. Estudios poscosecha realizados con jícama como raíz intacta.

Durante su almacenamiento, la jícama sufre diversos cambios que deterioran su calidad; el grado de deterioro está influido por la variedad, el tiempo, la humedad relativa y la temperatura a la cual es almacenada, existen estudios en los que se ha tratado de controlar estos cambios y por consiguiente, incrementar su vida poscosecha.

Cuadro 2. Composición nutricional de jícama (*P. erosus* L. Urban).

| Compuesto | En 100 g de peso fresco |
|----------------------------|-------------------------|
| Humedad (%) | 87 |
| Proteínas(g) | 1.3 |
| Lípidos (g) | 0.2 |
| Carbohidratos (g) | 9.9 |
| Almidón (g) | 7.5 |
| Azúcares Reductores (g) | 2.4 |
| No Reductores: Sacarosa(g) | 2.0 |
| Fibra (g) | 0.7 |
| Cenizas (g) | 0.5 |
| Minerales | |
| Ca (mg) | 15.7 |
| P (mg) | 16.8 |
| Fe (mg) | 0.63 |
| Cu (mg) | 0.43 |
| Na (mg) | 6.0 |
| K (mg) | 175.0 |
| Vitaminas | |
| Tiamina (B1) | 0.06 |
| Riboflavina (B2) | 0.02 |
| Acido ascórbico (C) | 17.7 |
| Niacina | 0.20 |
| Energía (Cal) | 39.3 |

Fuente: Sørensen 1996.

Los problemas más comunes en poscosecha de jícama, son el brotado durante el almacenamiento, desarrollo de pudriciones y deshidratación (Bruton, 1983; Paull y Chen, 1988; Cantwell et al., 1992).

En estudios realizados por Paull y Chen (1988) en jícama almacenada durante 4 meses a temperaturas de 12.5 y 22 °C, observaron que en ambas temperaturas se presentó pérdida continua de humedad; la velocidad de respiración a 12.5 °C fue casi el doble que el de las raíces almacenadas a 22°C; y la cantidad de almidón disminuyó durante el almacenamiento, esto se relacionó con un incremento en los azúcares totales, particularmente sacarosa.

Bergsma y Brecht (1992) encontraron que la jícama es susceptible al daño por frío, a temperaturas iguales o menores a 10°C, en los primeros siete días de almacenamiento, lo que se manifestó con oscurecimiento interno, pérdida de apariencia del tejido interno y pudriciones en la superficie. Cantwell et al. (1992) evaluaron los cambios en la calidad de jícama de Nayarit en relación al tiempo y temperatura de almacenamiento, observando que las raíces se conservaron menos de una semana a 0°C, de 1-2 semanas a 5°C, y entre 2 y 3 semanas 10°C; y las raíces almacenadas a 12.5°C conservaron excelente calidad por más de 4 semanas.

Los cambios fisiológicos inducidos a bajas temperaturas incluyen el incremento de velocidad de respiración y la pérdida de integridad de la membrana después de remover las raíces del almacenamiento. La pudrición es el principal síntoma externo de daño por frío, así como el oscurecimiento y la pérdida de turgencia son los principales síntomas internos (Cantwell et al., 1992).

Mercado-Silva y Cantwell (1998) observaron que la pérdida de peso después del almacenamiento a bajas temperaturas puede ser otro indicador del daño por frío en jícama, así como también reportaron que la distancia al punto de

ruptura y el parámetro de Luminosidad (L^*) indicaron en forma objetiva los cambios de firmeza y color como síntomas del daño por frío. Mercado-Silva et al. (1998) reportaron que cinco variedades de jícama producidas en el Bajío presentaron alta sensibilidad al daño por frío, cuando fueron almacenadas a 10°C durante una semana, los síntomas de daño fueron pudrición externa, oscurecimiento interno y pérdida de crujencia. En cambio, cuando las raíces fueron almacenados a 13°C su calidad se mantuvo durante 5 meses.

Como producto procesado esta raíz ha sido poco estudiada y hay escasos reportes al respecto, la deshidratación osmótica y congelación para conservarla (Juárez, 1994) o la obtención de jugo de jícama por ultrafiltración (Juárez y Paredes-López, 1994) son de los pocos trabajos reportados.

El consumo tradicional de esta raíz como alimento rebanado en fresco la hace interesante para aplicar la tecnología de los productos mínimamente procesados.

3. OBJETIVO GENERAL

Determinar la temperatura y atmósferas controladas adecuadas para mantener la calidad de jícama mínimamente procesada.

4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar la velocidad de respiración de jícama mínimamente procesada con jícama intacta.
- Evaluar la calidad de jícama mínimamente procesada almacenada a diferentes temperaturas.
- Estimar el efecto de la geometría de las piezas sobre la velocidad de respiración en jícama mínimamente procesada.
- Establecer la relación entre el metabolismo de fenoles y el oscurecimiento de jícama mínimamente procesada.
- Evaluar el efecto de las atmósferas controladas en la calidad de jícama mínimamente procesada.
- Evaluar el efecto de la variedad sobre la calidad del producto mínimamente procesado.
- Evaluar el efecto del tiempo de almacenamiento de la raíz intacta en la calidad del producto mínimamente procesado.

5. MATERIALES Y MÉTODOS.

5.1. Origen de la raíz.

Para la realización de este estudio se utilizaron jícamas de la especie *P. erosus* y segregantes de *P. ahipa* x *P. erosus* las cuales fueron sembradas en el campo experimental del INIFAP ubicado en Celaya, Guanajuato; fueron cosechadas manualmente en Septiembre-Octubre de 1997 y enviadas por transporte terrestre al Mann Laboratory, Vegetable Crops Department, Universidad de California, Davis. El tiempo de transporte fue de 8 días. También se utilizaron jícamas provenientes de los estados de Nayarit y Michoacán, cosechadas en Febrero de 1998. Las muestras iniciales también procedentes del Bajío se obtuvieron de la compañía distribuidora Friedas en Los Angeles, California.

5.2. Tratamiento de la raíz.

En el laboratorio, se seleccionaron aquellas raíces que estuvieran libres de defectos visuales, como daño mecánico y pudriciones. Se almacenaron en cámaras de refrigeración a 15°C durante 24 horas hasta su utilización.

5.3. Preparación de jícama mínimamente procesada.

Las raíces fueron lavadas con agua potable, se cortaron las partes terminales dejando una pieza ecuatorial de aproximadamente 5 cm de altura. Se obtuvieron cilindros de 1.8 cm de diámetro y aproximadamente 5 cm de largo, utilizando un sacabocados de acero inoxidable, éstos se uniformizaron a 4.5 cm de largo para cilindros o a 1 cm para obtener los discos; con un cuchillo afilado se cortaron piezas en forma de barras, similar a las papas fritas, con dimensiones de 4.5 cm de largo por 1 cm de ancho y alto; las piezas obtenidas se colocaron en

una charola puesta sobre hielo para mantener temperatura baja y se cubrieron con manta de cielo húmeda para evitar su deshidratación.

Todo el material utilizado en la preparación de las muestras se sanitizó con una solución de hipoclorito de sodio 100 ppm de cloro libre (pH 7). Todas las piezas se sumergieron durante 15 segundos en una solución de hipoclorito de sodio a una concentración de 50 ppm de cloro libre (pH 7). Se eliminó el exceso de agua con tela absorbente (manta de cielo) y se colocaron en frascos de vidrio de 250 ml.

5.4. Experimentos realizados a distintas temperaturas.

Las figuras 1 y 2 muestran en forma resumida el conjunto de experimentos realizados en este trabajo. Estos se dividieron en dos grandes grupos, los que investigaron los efectos de temperatura, y aquellos que investigaron los efectos de atmósferas controladas.

5.4.1. Efecto de la temperatura sobre la calidad global de jícama mínimamente procesada proveniente de la región del Bajío.

Nueve frascos de vidrio, por cada temperatura estudiada y conteniendo 3 cilindros de jícama cada uno, fueron conectados a un flujo de aire, a temperaturas de 0, 5, 10, 12.5 y 15 °C. Se realizaron evaluaciones de tres frascos para calidad visual, oscurecimiento, superficie de deshidratación, pudriciones macroscópicas, mal olor, sabor, color y firmeza, en los días 0, 5, y 10.

5.4.2. Efecto de la temperatura sobre la tasa de respiración de jícama mínimamente procesada y jícama intacta.

Se colocaron cinco cilindros de jícama en frascos de vidrio de 250 ml; tres de estos frascos fueron colocados a cada temperatura estudiada (0, 5, 10, 12.5 y

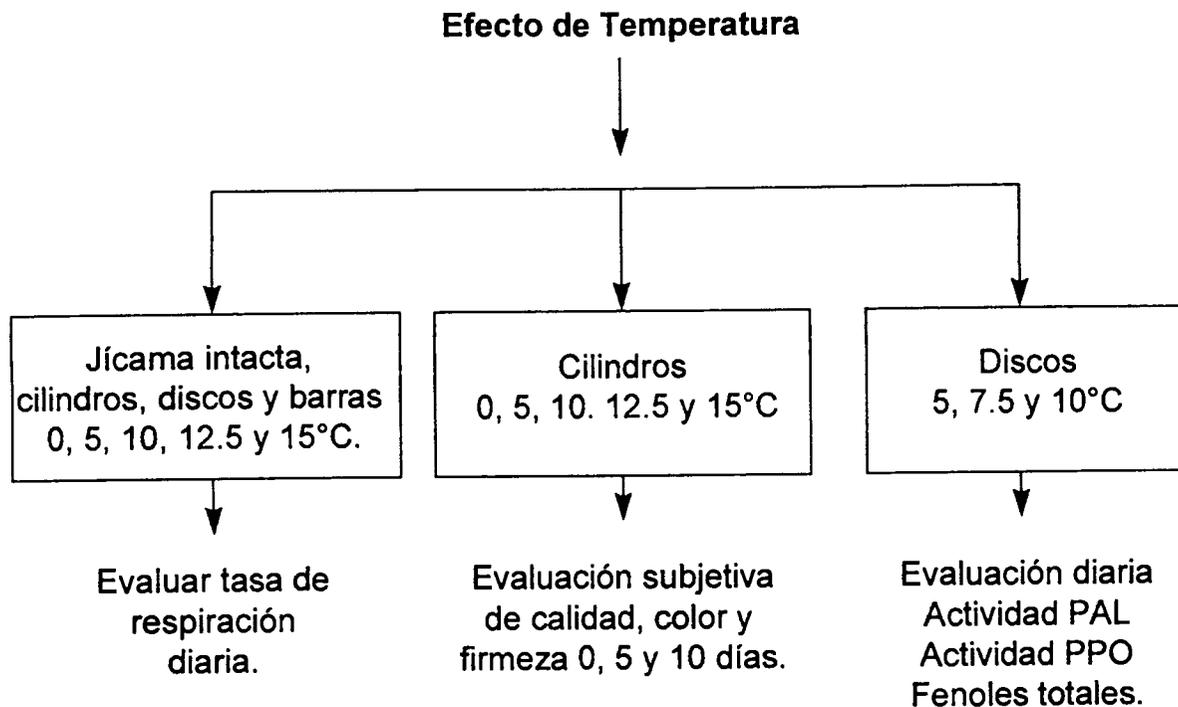


Figura 1. Experimentos realizados para evaluar el efecto de las bajas temperaturas en jícama intacta y mínimamente procesada.

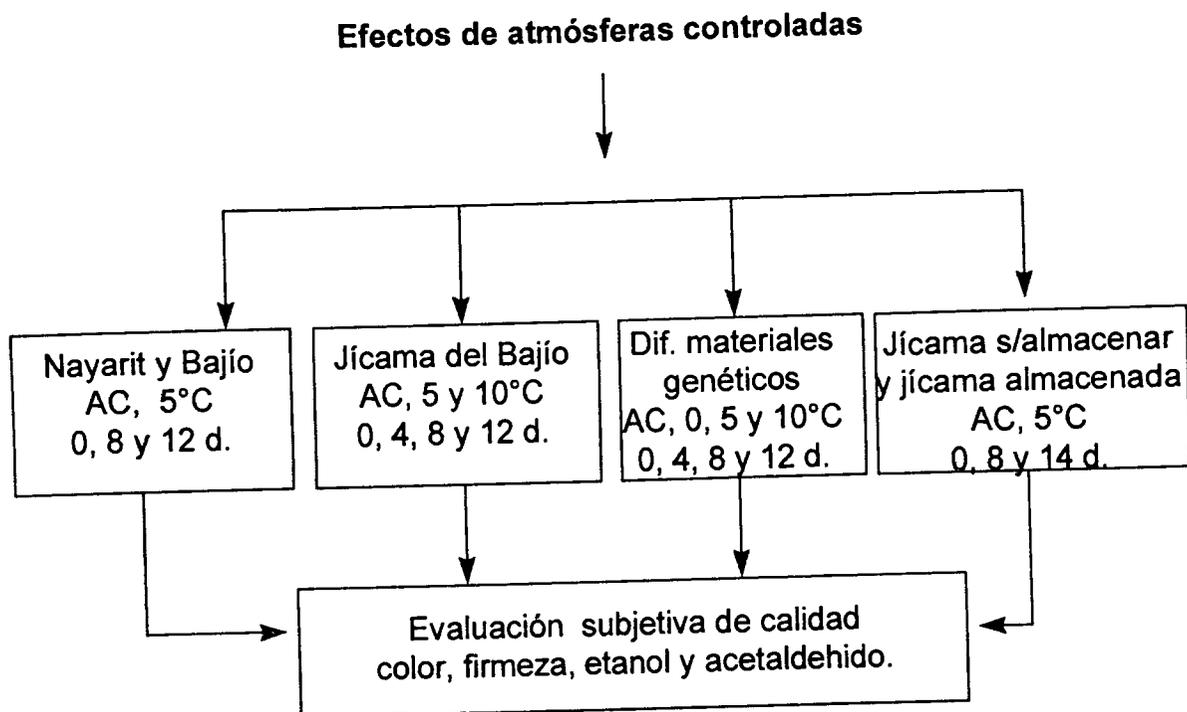


Figura 2. Experimentos realizados para evaluar el efecto de atmósferas controladas sobre jícama mínimamente procesada, de diferentes áreas de producción y diferentes materiales genéticos

15°C), se conectaron a una corriente de aire humidificado para evitar su deshidratación. A las mismas temperaturas se colocaron jícamas intactas en tres recipientes de plástico, para cada temperatura, que también fueron conectados al flujo de aire humidificado. Los flujos de aire se calcularon de tal forma que la concentración de CO₂ en los recipientes no fuera mayor de 0.5 %.

Diariamente se tomaron muestras del aire circulante en las muestras para determinar su contenido de CO₂.

5.4.3. Efecto de la temperatura y la geometría de las piezas sobre la velocidad de respiración de jícama mínimamente procesada.

Para cada temperatura estudiada (5 y 10°C) se colocaron tres frascos con aproximadamente 35 g de cada una de las figuras geométricas: cilindros (4.5 cm de longitud x 1.8 cm de diámetro), discos (1 cm de espesor y 1.8 cm de diámetro) y piezas en forma de barra (4.5 x 1 x 1 cm). Los frascos fueron conectados a un flujo de aire y se midió diariamente su tasa de respiración.

5.4.4. Efecto de la temperatura sobre la producción de fenoles y la actividad de Fenilalanina amonio liasa (PAL) y Polifenol oxidasa (PPO).

Con el objeto de acelerar el proceso de oscurecimiento, se utilizaron discos de 1.8 cm de diámetro y 1 cm de espesor. Estos discos fueron colocados en frascos de vidrio a 5, 7.5 y 10 °C, se conectaron a un sistema de respiración con flujo de aire humidificado. Diariamente se evaluó la actividad de PAL, PPO y fenoles totales (sección 5.6).

5.5. Experimentos con atmósferas controladas.

5.5.1. Efecto de las atmósferas controladas sobre la calidad de jícama mínimamente procesada de Nayarit y del Bajío.

Con la información obtenida en la sección anterior y basándose en la información de otros productos mínimamente procesados, se decidió utilizar las siguientes condiciones de atmósferas controladas, para ser estudiadas en este producto, a una temperatura de 5°C.

- Aire (control)
- 3% O₂
- 1% O₂
- Aire + 10 % CO₂
- 3% O₂ + 5 % CO₂
- 3% O₂ + 10 % CO₂
- 1 % O₂ + 10 % CO₂

Estas atmósferas fueron obtenidas mediante la mezcla de aire, bióxido de carbono y nitrógeno (para balance al 100%) controlando los flujos necesarios a través de capilares de distintos diámetros.

Se puede observar que estos tratamientos contienen condiciones extremas de O₂ (0.5%) y niveles intermedios de CO₂ (5 y 10%).

Se obtuvieron cilindros de jícama de Nayarit y del Bajío. Para cada variedad y por cada condición de atmósfera se colocaron seis frascos de vidrio, cada uno de ellos conteniendo tres cilindros de jícama; estos frascos fueron colocados en contenedores de vidrio de mayor volumen con un sello que permitió mantener las condiciones fijadas en cada mezcla. Al inicio del experimento se tomaron tres frascos para ser analizados como muestra del día cero. También se

tomaron muestras en los días 8 y 12. Los parámetros evaluados fueron calidad visual, oscurecimiento, deshidratación, presencia de pudriciones macroscópicas, mal olor, sabor, color, firmeza y la cuenta total de microorganismos en muestras seleccionadas. La forma de evaluar cada uno de estos parámetros se encuentra descrita en la sección 5.6.

5.5.2. Efecto de atmósferas controladas sobre la calidad de cilindros de jícama del Bajío almacenados a 5 y 10°C.

Este experimento fue similar al estudiado en la sección anterior. Sin embargo, solamente se utilizó jícama del Bajío y se amplió el intervalo de atmósferas estudiadas tanto en la concentración de O₂ (0.3%), como en la de CO₂ (20%). Las atmósferas estudiadas fueron:

- Aire (control)
- 3% O₂
- 0.3% O₂
- Aire + 10 % CO₂
- 3% O₂ + 10 % CO₂
- 0.3% O₂ + 10 % CO₂
- 3% O₂ + 20 % CO₂

El número de frascos y el número de cilindros por frasco, fue igual que en el experimento anterior, colocándose seis frascos con tres cilindros cada uno. Dado que a mayor temperatura se espera una menor vida de anaquel, los periodos de muestreo fueron distintos para las dos temperaturas; las muestras almacenadas a 5°C se analizaron en los días 0, 8 y 12, en tanto que las conservadas a 10°C se analizaron en los días 0, 4 y 8. Los parámetros analizados fueron calidad visual, oscurecimiento, deshidratación, presencia de pudriciones, mal olor y firmeza, se midió también la concentración de etanol y el acetaldehído como productos de la fermentación (sección 5.6.).

5.5.3. Efecto de la temperatura sobre la calidad de cilindros de jícama de diferentes materiales genéticos.

El tratamiento de las muestras fue similar que en los experimentos anteriores; los materiales genéticos que se compararon fueron los siguientes.

1. *P. erosus*, var. Agua Dulce
2. *P. erosus*, var. Cristalina
3. *P. erosus*, var. Vega de San Juan
4. *P. erosus* silvestre (# 49, EW229)
5. *P. erosus* cultivar (#38,117-49)
6. *P. ahipa* x *P. erosus* (#338)
7. *P. ahipa* x *P. erosus* (#378)
8. *P. ahipa* x *P. erosus* (#388)
9. *P. ahipa* (#19AC)
10. *P. ahipa* (#10AC)

Las tres primeras variedades corresponden a materiales en explotación comercial, el no. 4 corresponde a *P. erosus* silvestre; los materiales del 5 al 8 corresponden a segregantes de cruza ente *P. erosus* y *P. ahipa* y los dos últimos corresponden a variedades de *P. ahipa*. Los números entre paréntesis corresponden al código del programa de mejoramiento genético que desarrolla el INIFAP.

Los materiales genéticos fueron almacenados a temperaturas de 0, 5, y 10°C. Se tomó igual número de muestras que en los experimentos anteriores a los días 0, 8 y 12, para los tratamientos a 0 y 5°C y en los días 0, 4 y 8, en el tratamiento a 10°C.

Se realizó evaluación de su calidad visual, oscurecimiento, pudriciones macroscópicas, mal olor, color y firmeza.

5.5.4. Influencia del tiempo de almacenamiento de la raíz intacta en la calidad de jícama mínimamente procesada.

El tratamiento de las muestras es el mismo que en los experimentos anteriores. Se utilizaron jícamas provenientes de Michoacán y se evaluaron los cilindros obtenidos de jícama recién cosechada y con 15 días de almacenamiento a temperatura ambiente (19-22°C).

La temperatura de almacenamiento de los cilindros fue de 5°C, realizándose evaluaciones en los días 0, 8 y 14. Las atmósferas utilizadas fueron las siguientes:

| Recién cosechada | Almacenada |
|--------------------------------|-----------------------------|
| Aire | Aire |
| Aire + 10 % de CO ₂ | - |
| Aire + 13 % de CO ₂ | Aire + 12 % CO ₂ |
| - | Aire + 20 % CO ₂ |

Se evaluó la calidad visual, oscurecimiento, superficie de deshidratación, mal olor, sabor, color y firmeza, a través de los métodos que se describen en la sección siguiente.

5.6. Métodos empleados.

5.6.1. Medición de la concentración de gases.

Velocidad de respiración.

La velocidad de respiración se midió empleando el método de flujo continuo de aire a través de un frasco conteniendo las muestras. La diferencia entre la concentración de dióxido de carbono a la entrada y a la salida del frasco fue utilizada para calcular la velocidad de respiración. El flujo de aire se ajustó para evitar que un flujo excesivamente alto diera una diferencia de concentración de CO₂ muy pequeña entre los gases de entrada y los de salida, o que un flujo excesivamente bajo pudiera incrementar la concentración de dióxido de carbono a 1-2% lo cual afectaría la velocidad de respiración de las muestras (Kays, 1991).

Las concentraciones de dióxido de carbono fueron cuantificadas tomando un ml del gas de entrada y un ml del gas de salida del frasco de muestras e inyectando a un analizador de CO₂ (Horiba PIR-2000) previamente calibrado con un estándar de 0.5 % de CO₂ (Saltveit y Strike, 1989).

El principio de este equipo se basa en que las moléculas de CO₂ en la muestra absorben radiación en la región del infrarrojo a una longitud de onda específica y esta absorción es usada como una medida de la concentración de CO₂ en el flujo de aire (Kays, 1991).

Cálculo de la tasa de respiración.

$$\mu\text{l CO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} = \text{conc. CO}_2 (\%) \cdot \text{flujo del capilar } (\mu\text{l/h}) \cdot \text{peso muestra}^{-1} (\text{g})$$

$$\text{Conc. CO}_2 (\%) = [(\text{Pico del gas de salida} - \text{pico de entrada}) \cdot (\text{conc. std/pico std})]$$

$$\text{Flujo del capilar } (\mu\text{l/h}) = \text{l/h} \cdot 10^6 \mu\text{l/l}$$

$$\text{Conc. estándar de CO}_2 = 0.5 \%$$

$$\text{Altura del pico del estándar} = 80$$

Concentración de gases en las atmósferas controladas.

Las concentraciones de oxígeno y dióxido de carbono en las atmósferas establecidas fueron evaluadas cada 24 horas inyectando muestras de 1 ml del gas a un analizador de CO₂ (Horiba Modelo PIR-2000) y a un analizador de O₂ (Applied Electrochemistry Inc. Modelo S-3A) (Saltveit y Strike, 1989). Se utilizó como estándar una mezcla de gases de 5% de O₂ y 5% de CO₂ para la calibración de los equipos.

5.6.2. Escalas subjetivas de Calidad.

Las escalas de estimación se utilizan para expresar la severidad de un defecto, para comparar grados de severidad, o para expresar numéricamente la calidad total de un producto (Lipton, 1980). Las escalas subjetivas para evaluar la calidad de cilindros de jícama se plantearon tomando como referencia las propuestas por Kader et al. (1973), los estudios realizados por Cantwell et al. (1992) y Mercado-Silva et al. (1998) con jícama intacta.

1. **Calidad visual.** Se estimó con la siguiente escala: 9= excelente, esencialmente libre de defectos; 7= buena, defectos menores, no objetables; 5= regular, defectos leves a moderados; 3= pobre, defectos excesivos; 1= extremadamente pobre, rechazado.

2. **Oscurecimiento.** Se calificó en una escala de 1 a 5, donde 1 = ninguno o no se presenta, 2 = ligero, 3 = moderado, 4 = severo y 5 = extremo, muy oscuro.

3. **Deshidratación en la superficie.** Se calificó en una escala de 1 a 5, donde 1 = no se presenta, 2 = ligera (5%), 3 = moderada (10%), 4 = severa (20%) y 5 = extrema (>50 % de la superficie afectada).

4. **Pudrición macroscópica.** Se evaluó en una escala del 1 al 5, donde 1 = ninguna, 2 = ligera (5%), 3 = moderada (10%), 4 = severa (20%) y 5 = extrema (>50% de la superficie afectada).

5. **Sabor.** Se evaluó en una escala de 5 a 1, donde 5 = sabor característico, completo, 4 = cercano al típico, 3 = moderado, pero típico, 2 = poco, pero típico, 1 = no característico o ninguno.

5.6.3. Parámetros físicos.

5.6.3.1. Color.

El color se determinó usando un colorímetro Minolta CR-200/300, con iluminante A y observador a 10° , previamente calibrado sobre una superficie blanca ($x = 82.03$; $y = 100$ y $z = 72.98$). Se registraron los valores de L^* , a^* y b^* con los cuales se calcularon cromaticidad (C^*) y el ángulo de matiz (h°).

En el espacio de color CIE 1976 (L^* , a^* , b^*), o CIELAB, el coeficiente de luminosidad L , tiene un intervalo de negro = 0 a blanco = 100. Las coordenadas (a^* , b^*) localizan el color sobre una coordenada rectangular perpendicular a L^* . El color en el origen ($a^* = 0$, $b^* = 0$) es acromático (gris). Sobre el eje horizontal x , a^* positivo indica las tonalidades de rojo y a^* negativo, las tonalidades de verde. Sobre el eje vertical, b^* positivo indica amarillo y b^* negativo, azul (Minolta Corporation Manual, 1994).

McGuire (1992) reportó que puede obtenerse una forma más adecuada para medir el color, con el cálculo del ángulo de matiz (h°) y la cromaticidad (C^*), estos dos parámetros son índices análogos a la intensidad y saturación de color. Los parámetros son calculados a partir de a^* y b^* .

Cromaticidad $C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ y representa la hipotenusa de un triángulo rectángulo creado por los puntos (0,0), (a^* , b^*), y (a^* , 0).

El ángulo de matiz puede ser definido como el ángulo que forma la hipotenusa de un triángulo rectángulo con el eje a^* y se define como

$h^\circ = \tan^{-1}(b^*/a^*)$. Para efecto de interpretación, el ángulo de matiz h° , se mantiene positivo entre 0° y 360° (0° = rojo, 90° = amarillo, 180° = verde y 270° = azul).

5.6.3.2. Firmeza.

Las condiciones utilizadas para la medición de este parámetro fueron propuestas por Mercado-Silva y Cantwell (1998) para jícama intacta. Se determinaron los parámetros de fuerza máxima de ruptura y la distancia de penetración al punto de ruptura, los valores se registraron con un analizador de textura TA-HD (Texture Technologies Corp., Scarsdale, NY) con una velocidad de penetración de 1 mm/seg a una profundidad final de 8 mm. Se utilizaron sondas de 3 y 5 mm de diámetro con extremo redondeado y plano respectivamente.

5.6.4 Actividad enzimática y producción de fenoles totales.

5.6.4.1. Actividad de PAL.

Se siguió el método propuesto por Ke y Saltveit (1986) que consistió de los siguientes pasos.

Preparación de reactivos.

Buffer de Bórato 50 nanomolar (nM) (pH 8.5). Se pesaron 3.1 gramos de ácido bórico y aproximadamente 0.4 gramos de hidróxido de sodio (NaOH), se disolvieron y se aforó a un litro con agua destilada. Se ajustó a un pH de 8.5 con una solución de hidróxido de sodio 0.1N. Este reactivo puede almacenarse a 4°C .

Sustrato de L-fenilalanina 100 milimolar (mM). Se pesaron 1.65 gramos de L-fenilalanina, se disolvió y se aforó a 100 mililitros con agua destilada. Para mejorar su solubilidad, se agregaron aproximadamente 0.5 ml de NaOH 0.1N.

Extracción de la enzima.

Se pesaron 0.4 g de Polivinilpirrolidona (PVP), a los cuales se adicionó 16 ml de buffer de borato 50 mM (pH 8.5), se agregaron 14 μ l de 2-mercaptoetanol y 4 g de tejido finamente cortado. Se homogenizó durante 15 segundos en un homogenizador de tejidos Ultra-Turrax T25 a 800 rpm; se filtró a través de 4 capas de manta de cielo; se centrifugó a 12 000 rpm a 4°C durante 20 minutos, el sobrenadante claro se consideró el extracto crudo de la enzima.

Ensayo de la actividad de la enzima.

Se calentaron 2700 μ l del extracto enzimático a 40°C durante 5 minutos, se adicionaron 300 μ l de sustrato de fenilalanina 100 nM y se midió la absorbancia a 290 nm. Después de una hora de incubación se volvió a medir la absorbancia. Utilizando una curva estándar de ácido cinámico (Figura A1, del apéndice A) se definió la unidad de PAL como la cantidad de esta enzima (fenil alanina amonio liasa) que produce 1 μ mol de ácido cinámico en una hora, bajo las condiciones antes especificadas.

5.6.4.2. Actividad de Polifenol oxidasa.

Se siguió el método descrito por Siriphanich y Kader (1985), que consiste de los siguientes pasos.

Preparación de reactivos.

Buffer de fosfato 50 mM pH 6.2. Se pesaron 6.8045 g de fosfato de potasio dibásico (KH_2PO_4) y se aforó a un litro con agua destilada. Para ajustar su pH a 6.2 se adicionó 5.5 ml de NaOH 0.1N por cada 50 ml de solución.

Sustrato de ácido cafeíco 0.1 M. Se pesaron 0.18 g de ácido cafeíco y se aforó a 10 ml con etanol.

Extracción de la enzima.

Se homogenizaron en un homogenizador de tejidos Ultra-Turrox, 0.4 g de Polivinilpirrolidona (PVP) insoluble con 4 g de tejido y 16 ml de buffer de fosfato 50 mM pH 6.2. El homogenizado se filtró con 4 capas de manta de cielo, el filtrado se centrifugó a 12 000 g por 20 min a una temperatura de 4°C; el sobrenadante se consideró como el extracto de la enzima.

Ensayo de la actividad de la enzima.

A 933 µl de extracto enzimático se agregaron 67 µl de sustrato de ácido cafeico y se leyó la absorbancia durante un período de 3 min a una longitud de onda de 420 nm. La actividad se reportó como unidades de PPO, siendo una unidad, el cambio en 0.1 unidades de absorbancia en un minuto.

5.6.4.3. Determinación de Fenoles.

Se siguió el método descrito por Hyodo et al. (1978) que consistió en lo siguiente.

Tratamiento de la muestra.

Se pesaron 8 g de jícama finamente cortada, se adicionaron 15 ml de etanol al 80%, se homogenizó con un Ultra-Turrox T25, se filtró con 4 capas de manta de cielo y se dejó reposar media hora. El sobrenadante fue utilizado para hacer la determinación de fenoles.

Preparación de reactivos.

Reactivo A: Solución de tartrato de sodio-potasio tetrahidratado en agua 2.7% (p/v).

Reactivo B: Solución de carbonato de sodio al 2.0% (p/v) en hidróxido de sodio 0.N. Este reactivo no debe ser almacenado por más de uno o dos meses.

Reactivo C: Se preparó con una parte (volumen) del Reactivo A más 98 partes del reactivo B. Este reactivo debe ser preparado en el momento del análisis.

Reactivo D: Se preparó con una parte del reactivo comercial Folin Ciocateu phenol más una parte de agua. Este reactivo debe ser preparado en el momento del análisis.

Cuantificación.

En un tubo de ensaye se colocaron 0.25 ml del extracto de fenoles mas 2.5 ml del reactivo C y dejando reposar por 10 min. Se adicionaron 0.25 ml del reactivo D agitando vigorosamente, se dejó reposar de 30 a 60 min., y se leyó la absorbancia a una longitud de onda de 660 nm.

La cuantificación de fenoles totales se realizó utilizando una curva estándar de 0 a 50 $\mu\text{g/ml}$ de ácido cumárico (Apéndice A, Figura A2).

5.6.5. Producción de Etanol y Acetaldehido.

La producción de etanol y acetaldehido se midió tomando como referencia el método propuesto por Mateos et al. (1993). En un tubo de ensaye con tapa de hule fueron colocados 2.5 gramos de tejido. Tres tubos por tratamiento fueron calentados en un baño con agua a 60°C durante una hora. Se tomaron muestras de 0.5 ml del espacio de cabeza y se inyectó a un cromatógrafo de gases (Hewlett Packard Modelo 5890A) equipado con una columna de vidrio empacada (2mm*1.8 m) con 5% de Carbowax 20 M y un detector de ionización de flama. Las temperaturas de la columna y del detector fueron 85 y 250°C , respectivamente.

Los estándares fueron preparados colocando una concentración conocida del compuesto (etanol o acetaldehido) en agua y sometiéndolos al mismo

tratamiento que a las muestras. La identificación se realizó con el tiempo de retención y la cuantificación con las curvas estándar de las figuras B3 y B4, del Apéndice B.

5.6.6. Cuenta total en placa.

Las evaluaciones microbiológicas se llevaron a cabo al inicio (día 0), 8 y 12 días de tratamiento, tanto en jícamas de Nayarit como las del Bajío sometidas a diferentes tratamientos de atmósferas controladas y a 5°C. Se determinó la cuenta total en placa a través de diluciones en serie de muestras trituradas por cada tratamiento, usando agar SMA e incubando a 29 °C.

5.7. Análisis estadístico.

Se utilizó un diseño experimental por bloques completamente alzar, el análisis estadístico de los datos se realizó con un análisis de varianza y se utilizó la prueba de Tukey con un nivel de significancia ≤ 0.05 para establecer las diferencias entre las medias. Para cada tratamiento y tiempo se tomaron 9 muestras.

6. RESULTADOS

6.1. Velocidad de respiración de jícama mínimamente procesada comparada con jícama intacta.

La velocidad de respiración de jícama intacta se mantuvo constante durante 10 días de almacenamiento y en general fue mayor a mayor temperatura, sin embargo, a 12.5 °C la velocidad fue mayor que a 15°C (Fig. 3 A). La velocidad de respiración de cilindros de jícama almacenados a distintas temperaturas fue 1.3 a 2.6 veces mayor, respecto a la jícama intacta (Cuadro 3, Figura 3B); en los cilindros éste parámetro estuvo relacionado con la temperatura en forma directa, es decir, a mayor temperatura mayor tasa de respiración (Cuadro 3). No obstante, en el caso de los cilindros de jícama, a excepción del tratamiento a 0°C donde la tasa de respiración fue constante, la velocidad de respiración aumentó en los últimos días de almacenamiento (Figura 3B).

6.2. Calidad de jícama mínimamente procesada almacenada a diferentes temperaturas.

6.2.1. Cambios de calidad visual y color.

La calidad visual de cilindros almacenados a diferentes temperaturas se muestra en la Figura 4. Se observó que en 5 días de almacenamiento a 0, 5 y 10 °C los cilindros conservaron una calidad excelente (9) o muy buena (8), mientras que los almacenados a 12.5 y 15 °C presentaron calidad pobre (3-4). Después de 10 días de almacenamiento los cilindros almacenados a 0 y 5°C mantuvieron una calidad excelente y buena (calificación de 9 y 7) respectivamente.

A 0 y 5°C no se presentó oscurecimiento del tejido durante 10 días de almacenamiento; sin embargo, a temperaturas mayores de 5°C el oscurecimiento fue uno de los principales factores que disminuyó la calidad de jícama

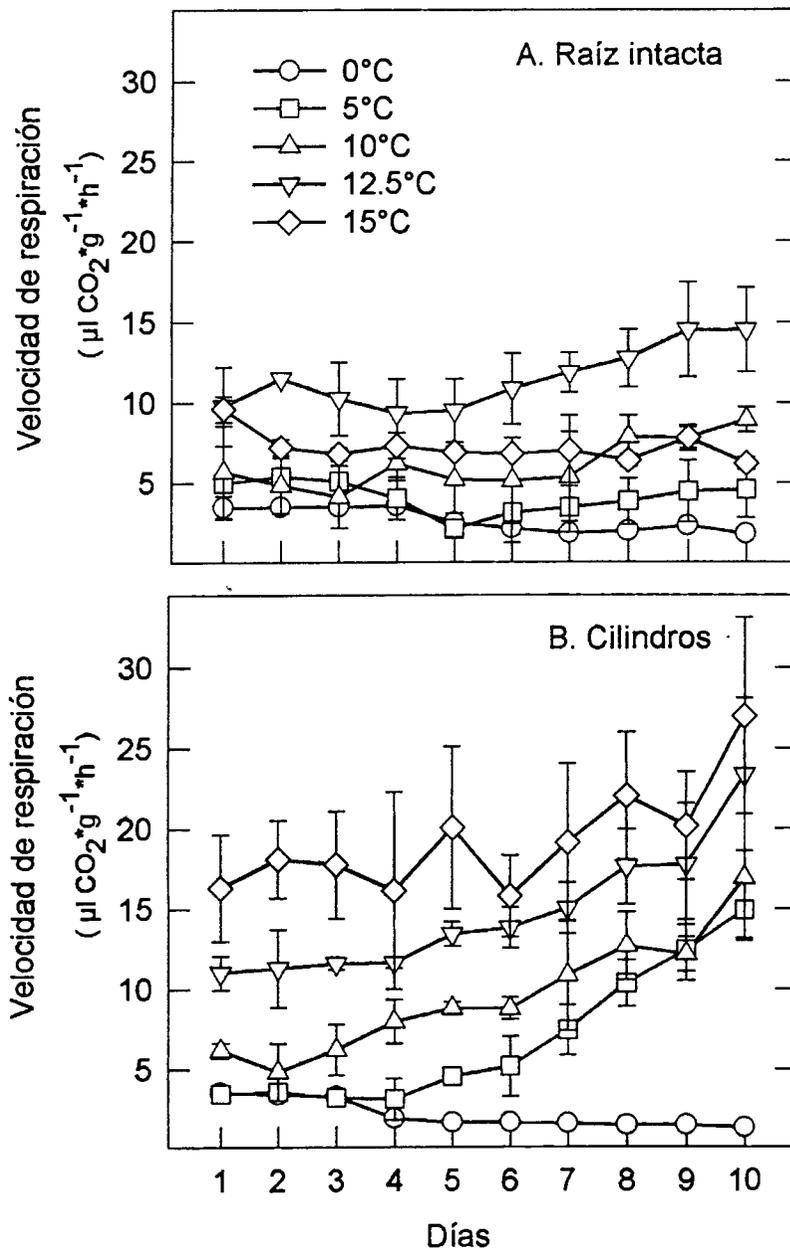


Figura 3. Velocidad de respiración en cilindros (1.8 x 4 cm) y raíces intactas de jícama del Bajío. Cada punto es el de 3 repeticiones \pm SD.

Cuadro 3. Velocidad de respiración de raíz intacta y cilindros de jícama del Bajío almacenados a temperaturas de 0 a 15°C.

| Temperatura (°C) | Velocidad de Respiración ($\mu\text{l CO}_2\text{-g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$) | | % Cambio |
|-------------------|---|-----------|----------|
| | Raíz intacta | Cilindros | |
| 0 | 2.7* | 2.1 | -22 |
| 5 | 4.1 | 6.8 | 66 |
| 10 | 6.1 | 9.5 | 56 |
| 12.5 | 11.0 | 14.7 | 34 |
| 15 | 7.2 | 19.2 | 167 |
| Q_{10} (5-15°C) | 1.75 | 2.82 | 61 |

*Los valores son el promedio en 10 días de almacenamiento.

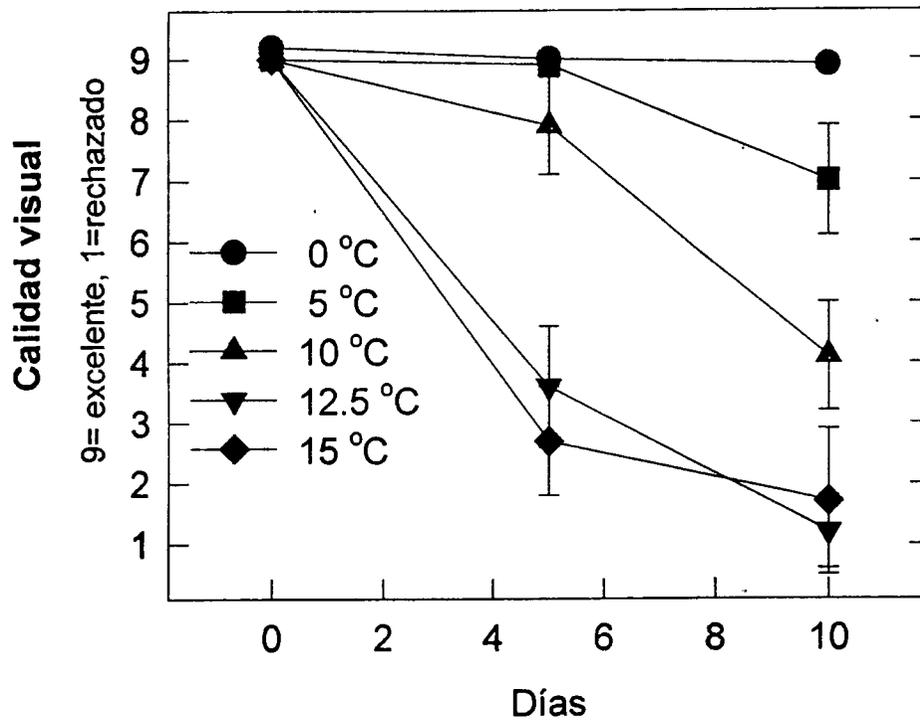


Figura 4. Calidad visual en cilindros (1.8 x 4 cm) de jícama del Bajío almacenados a diferentes temperaturas durante 10 días. Las barras indican \pm SD.

mínimamente procesada (Figura 5). La medida objetiva del color a través del ángulo de matiz también permitió observar este comportamiento (Cuadro 4), en los 5 primeros días de almacenamiento no se observaron diferencias en este parámetro, mientras que a 10 días se observaron valores menores en los cilindros almacenados a 10, 12.5 y 15°C, lo cual coincidió con la evaluación visual.

6.2.2. Incidencia de microorganismos, sabor y superficie de deshidratación.

El crecimiento de microorganismos en cilindros de jícama se presentó después de 5 días de almacenamiento, ligeramente (5%) a los 10 días en el tratamiento a 12.5°C, y en forma crítica (>50% de la superficie afectada) en el tratamiento a 15°C (Fig. 6A). No se presentaron cambios en el sabor en los primeros 5 días de almacenamiento, sin embargo a los 10 días hubo cambio moderado (calificación 3) en las muestras de los tratamientos a 10 y 12.5 °C y se calificó como no característico (1) a 15°C (Fig. 6B).

La deshidratación superficial no fue un factor importante a considerar ya que sólo a temperaturas mayores de 10°C se presentó en forma ligera.

6.2.3. Textura.

El cuadro 5 muestra el análisis estadístico de la distancia y fuerza al punto de ruptura en discos almacenados a diferentes temperaturas, se puede observar que no existen diferencias significativas importantes en cuanto a estos dos parámetros; en este estudio se utilizó una sonda de 3 mm de diámetro con extremo redondeado, lo cual pudo haber sido una limitante para cuantificar las diferencias en textura.

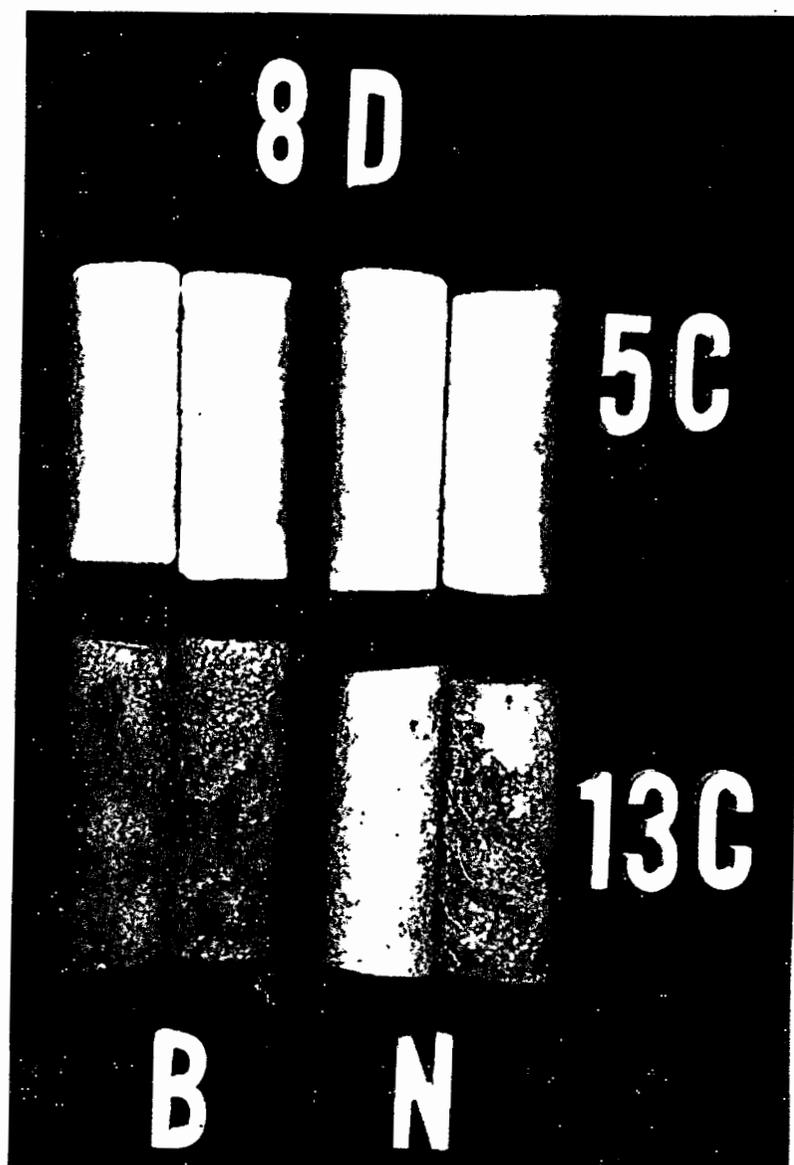


Figura 5. Oscurecimiento en cilindros de jicama de Nayarit (N) y del Bajío (B) almacenados durante 8 días a 5 y 13°C.

Cuadro 4. Angulo de matiz en cilindros de jícama del Bajío a 5 y 10 días de almacenamiento a diferentes temperaturas.

| Temperatura °C | Angulo de matiz (Arc tan b*/a*) | |
|-------------------|---------------------------------|--------------------|
| | 5 días | 10 días |
| 0 | 106.9 _a | 110.7 _a |
| 5 | 106.1 _a | 104.5 _a |
| 10 | 106.3 _a | 96.2 _b |
| 12.5 | 104.7 _a | 89.3 _c |
| 15 | 105.9 _a | 84.8 _c |

Diferentes letras en la misma columna representan diferencias estadísticamente significativas (Tukey <0.05).

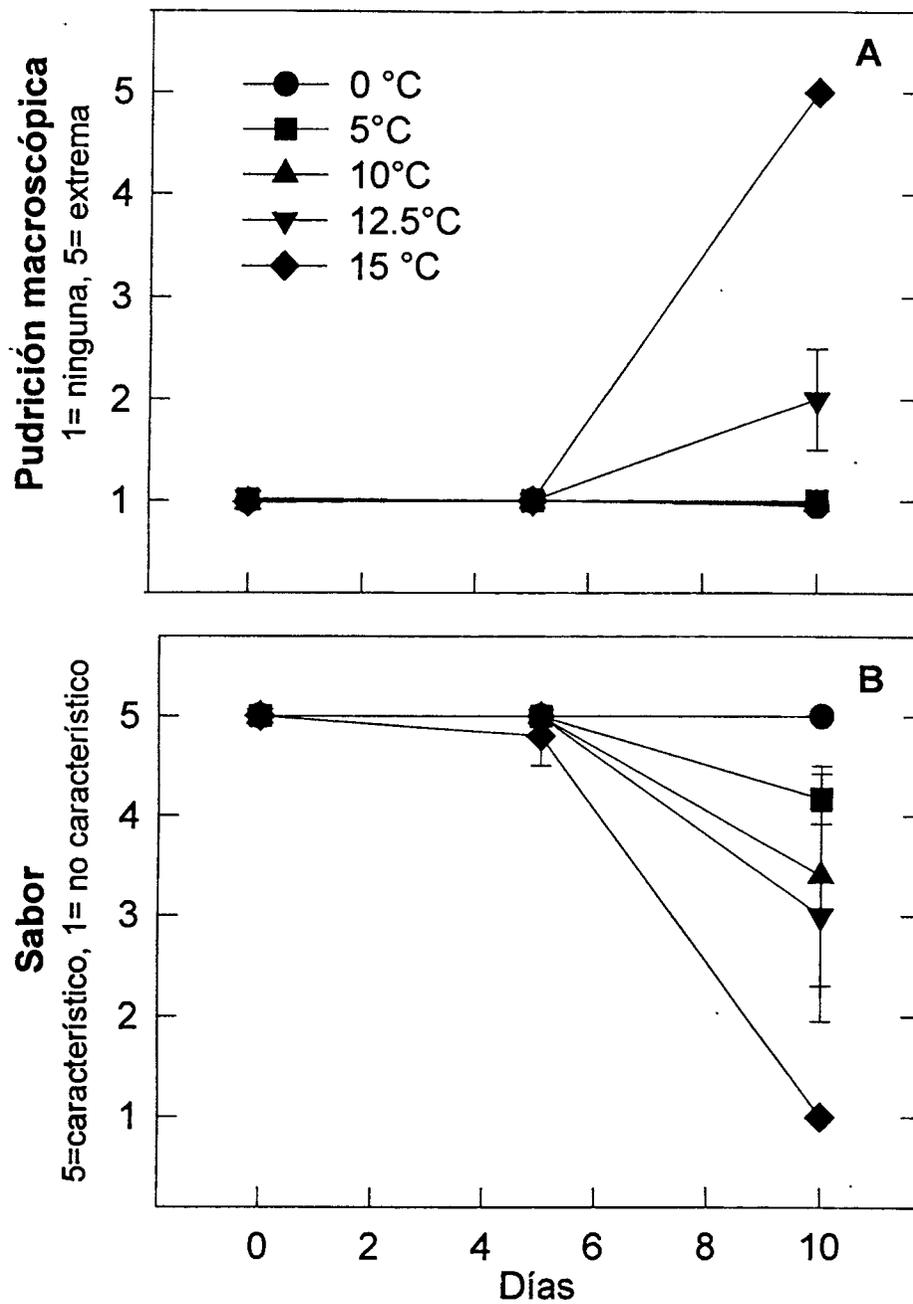


Figura 6. Pudrición macroscópica (A) y sabor (B) en cilindros de jícama del Bajío, almacenados a diferentes temperaturas. Las barras indican \pm SD.

Cuadro 5. Distancia al punto de ruptura y fuerza de ruptura en cilindros de jicama del Bajío a 0, 5 y 10 días de almacenamiento en diferentes temperaturas usando una sonda de 3 mm de diámetro.

| Temperatura °C | Distancia al punto de ruptura (mm) | | | Fuerza de ruptura (N) | | |
|-------------------|------------------------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|
| | 0 | 5 | 10 | 0 | 5 | 10 días |
| 0 | 1.46 ^a | 1.21 ^a | 1.64 ^a | 5.86 ^a | 5.75 ^a | 4.42 ^a |
| 5 | 1.46 ^a | 2.30 ^a | 1.23 ^a | 5.86 ^a | 5.42 ^a | 5.35 ^a |
| 10 | 1.46 ^a | 1.89 ^a | 1.32 ^a | 5.86 ^a | 5.85 ^a | 5.09 ^a |
| 12.5 | 1.46 ^a | 1.75 ^a | 1.24 ^a | 5.86 ^a | 5.95 ^a | 4.40 ^a |
| 15 | 1.46 ^a | 3.98 ^b | 1.25 ^a | 5.86 ^a | 4.92 ^a | 4.78 ^a |

Diferentes letras en la misma columna representan diferencias estadísticamente significativas (Tukey <0.05).

6.3. Efecto de la geometría de las piezas sobre la velocidad de respiración.

Hasta los 6 días de almacenamiento, se observó una clara diferencia en la tasa de respiración entre las muestras almacenadas a 5°C y las almacenadas a 10°C, siendo mayor a esta última temperatura. Después de este periodo las muestras almacenadas a 5°C incrementaron su tasa de respiración y disminuyeron su diferencia respecto de las muestras a 10°C (Fig. 7). Se puede afirmar que antes de los 6 días de almacenamiento no hubo efectos de la geometría sobre la tasa de respiración, sin embargo, después de 7 días a 10°C se observó una mayor tasa de respiración de piezas de jícama en forma de discos y la forma de cilindros mostró una mayor tasa de respiración a 5 °C.

6.4. Actividad de Fenilalanina amonio liasa, producción de fenoles y actividad de polifenol oxidasa.

6.4.1. Actividad de Fenilalanina amonio liasa.

Los niveles de actividad de la enzima Fenilalanina amonio liasa (PAL), en cilindros de jícama, estuvieron influidos por la temperatura (Fig. 8A); a 5°C su nivel de actividad fue bajo y se mantuvo constante durante nueve días de almacenamiento. A 7.5°C se incrementó a partir del día 2 hasta un máximo en el día seis, a 10°C se incrementó más rápidamente y se obtuvo la mayor actividad en el día cuatro, es decir, que la actividad máxima a 10°C se encontró dos días antes que a 7.5°C y fue 50% mayor. Después de alcanzar el nivel máximo la actividad disminuye hasta niveles iniciales.

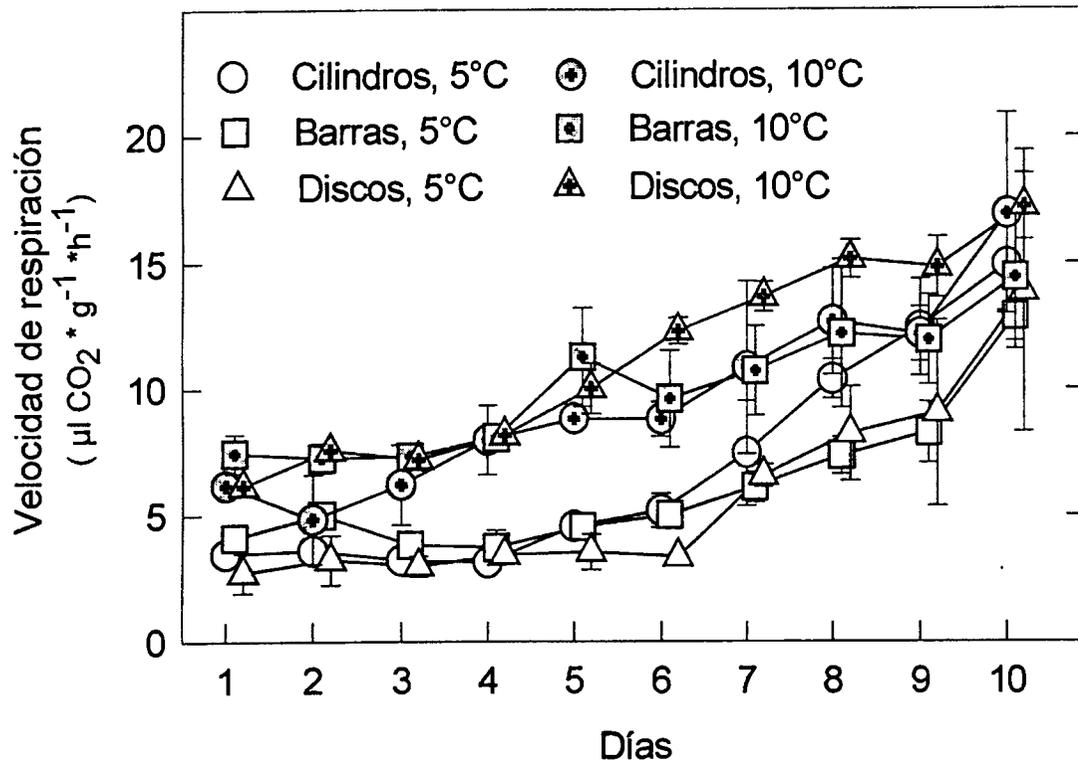


Figura 7. Velocidad de respiración de cilindros (1.8 x 4 cm), barras (~1.5 x 4 cm) y discos (1.8 cm diámetro y 1 cm de espesor) de jícama del Bajío. Cada punto es el promedio de 3 repeticiones \pm SD.

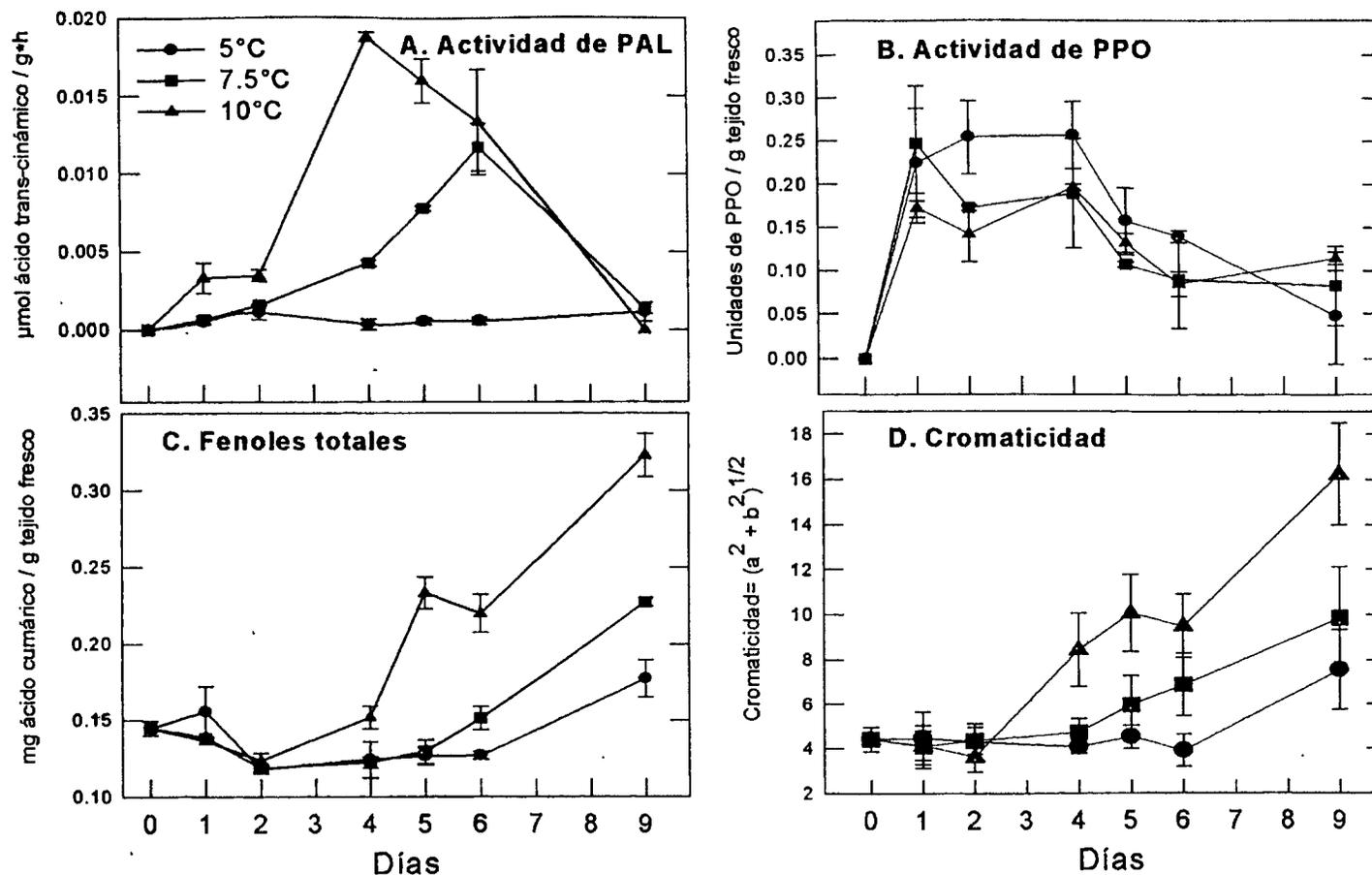


Figura 8. Actividad de Fenil alanina amonio liasa (PAL), Polifenol oxidasa (PPO), contenido de fenoles totales y cromaticidad en discos de jícama del Bajío, almacenados durante 9 días. Las barras indican \pm SD.

6.4.2 Producción de Fenoles y cambios de cromaticidad.

La cantidad de fenoles presentes en jícama mínimamente procesada durante el almacenamiento se incrementó y estuvo relacionada con la temperatura, a mayor temperatura mayor cantidad de fenoles (Fig. 8C), siendo mucho mayor a 10°C que a 7.5°C. El incremento en la actividad de PAL se relacionó con la cantidad de fenoles totales presentes (Fig. 8C). No obstante la disminución en la actividad de PAL, la concentración de fenoles continuó incrementando.

Los cambios de color se expresaron a través del parámetro de cromaticidad con respecto al tiempo (Figura 8D), se observaron los mayores incrementos a partir del día 4 para los discos almacenados a 10°C; para los discos almacenados a 7.5°C el incremento se empezó a mostrar a partir del día cinco y para 5°C el cambio en la cromaticidad se hizo evidente hasta el día nueve. Se encontraron correlaciones de 0.68, 0.80 y 0.92 entre el parámetro de cromaticidad y el contenido de fenoles totales a temperaturas de 5, 7.5 y 10°C, respectivamente (Figuras B1, B2, y B3 del apéndice B).

6.4.3. Actividad de Polifenol oxidasa.

La acción de PPO sobre compuestos fenólicos podría dar lugar al oscurecimiento del tejido, sin embargo la actividad solo se incrementó rápidamente en el primer día de almacenamiento en los tres tratamientos, se mantuvo casi constante hasta el cuarto día y disminuyó hasta casi igualar los valores iniciales (Fig. 8B), valores mayores se observaron en el tratamiento a 5°C. Pareciera ser que la actividad de esta enzima es independiente de la temperatura aún cuando se observan claras diferencias en color (Figura 9).

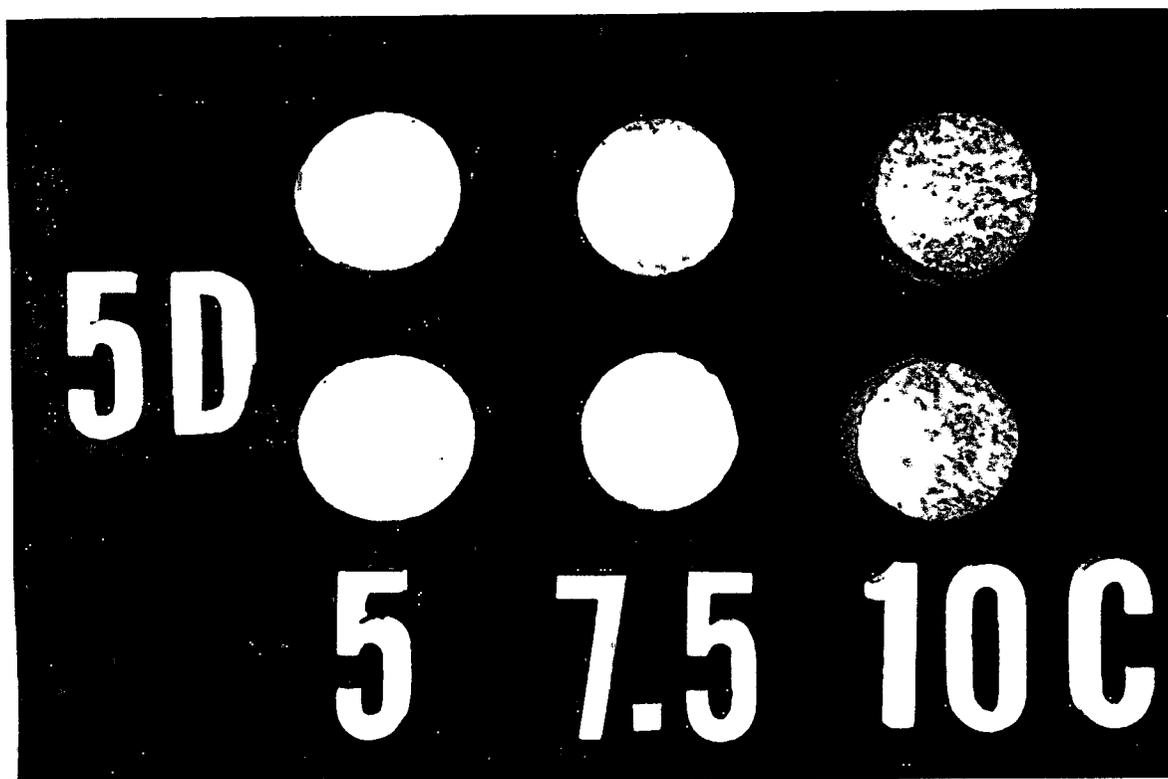


Figura 9. Oscurecimiento en discos de jícama almacenados a diferentes temperaturas durante 5 días.

6.5. Efecto de almacenamiento en Atmósferas controladas sobre la calidad de cilindros de jícama de dos zonas de producción (Nayarit y Bajío).

A continuación se describen los resultados del efecto de diferentes atmósferas sobre la calidad de jícama mínimamente procesada almacenada a 5°C.

6.5.1. Cambios de calidad visual.

Los cilindros de jícama de Nayarit y del Bajío mantuvieron calidad visual buena casi constante durante 8 días de almacenamiento mientras que a 12 días se mantuvo mejor en atmósferas con 5 ó 10% de CO₂. En atmósferas con aire ó concentraciones bajas de O₂, la calidad disminuyó en mayor proporción en la jícama del Bajío (Fig. 10A y 10B).

6.5.2. Oscurecimiento del tejido.

En la figuras 11A y 11B se muestra la evaluación subjetiva de oscurecimiento en cilindros de jícama de Nayarit y del Bajío almacenados a 5°C. Los cilindros de jícama de Nayarit almacenados durante 12 días en 5 ó 10 % de CO₂ no presentaron oscurecimiento mientras que en aire ó concentraciones bajas de O₂ se oscurecieron ligeramente. En cilindros de jícama del Bajío, a excepción de los cilindros del tratamiento con 1% de O₂ que se oscureció ligeramente, en las muestras sometidas a los tratamientos restantes hubo oscurecimiento mínimo. La figura 12 muestra que en cilindros de jícama de Nayarit almacenados a 5°C durante 12 días en atmósferas con alta concentración de CO₂ no se observó oscurecimiento, sin embargo, cuando estos cilindros fueron almacenados en aire se presentó oscurecimiento en el tejido.

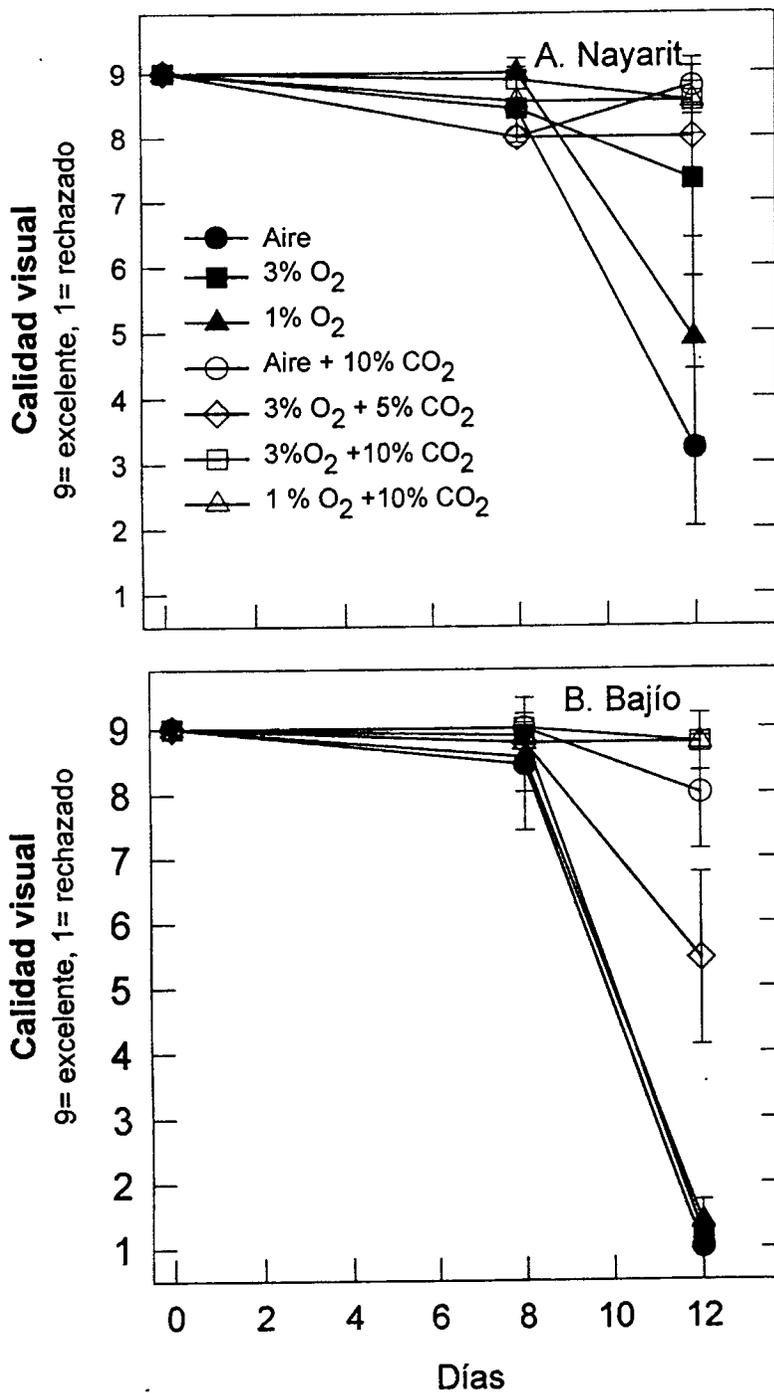


Figura 10. Cambios de calidad visual en cilindros de jícama de Nayarit (A) o del Bajío (B) almacenados a 5°C en diferentes atmósferas. Las barras indican \pm SD.

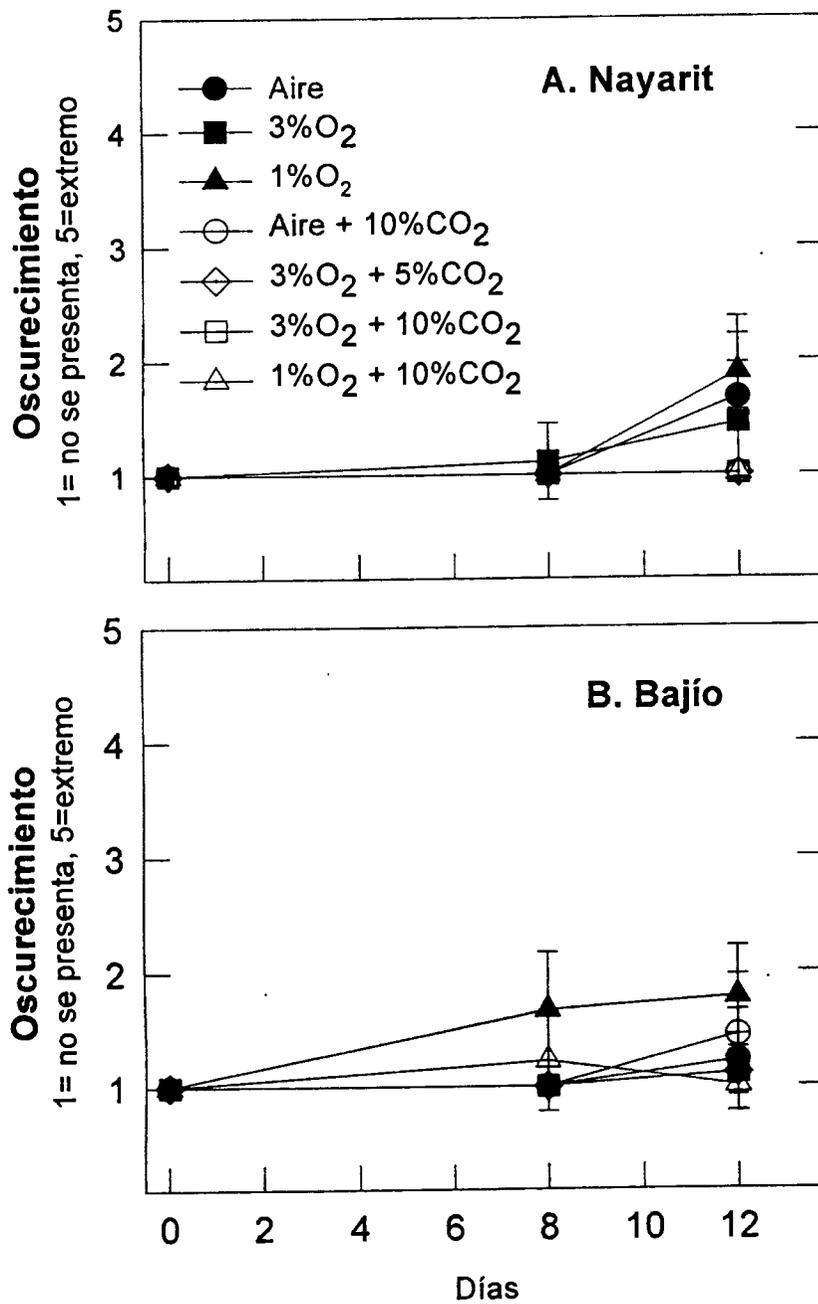


Figura 11. Presencia de oscurecimiento en cilindros de jícama de Nayarit (A) o del Bajío (B) almacenados a 5°C en diferentes atmósferas. Las barras indican \pm SD.

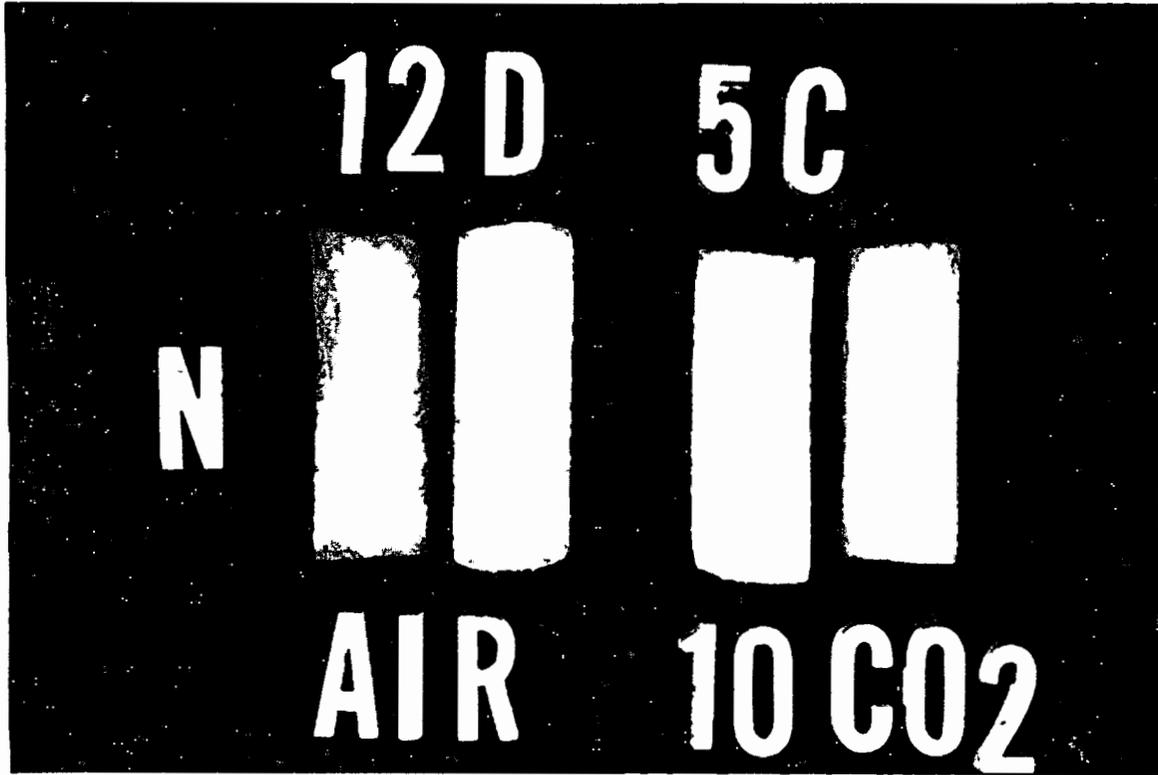


Figura 12. Oscurecimiento en cilindros de jícama de Nayarit almacenados a 5°C en atmósferas de aire y 10% CO₂.

6.5.3. Incidencia de microorganismos

Uno de los factores principales que disminuyeron la calidad de los cilindros de jícama almacenados a 5°C fue el desarrollo de microorganismos. En cilindros de jícama del Bajío, este problema se presentó en forma severa en los tratamientos con aire ó bajas concentraciones de O₂ y ligeramente en los cilindros de Nayarit en las mismas condiciones. Las atmósferas con niveles de 10% CO₂ lograron detener el desarrollo de microorganismos. El almacenamiento en atmósferas con 5% de CO₂ logró detener (al menos visualmente), el desarrollo de microorganismos en la jícama de Nayarit y se presentó en forma ligera en la jícama del Bajío, al incrementar la concentración de CO₂ al 10% se logró detener el desarrollo de microorganismos tanto en jícama de Nayarit como en la del Bajío (Figura 13 y 14). Los resultados del análisis microbiológico se muestran en el cuadro No. 6, se observa que al inicio del experimento la jícama del Bajío presentó una mayor carga microbiana comparada con la jícama de Nayarit, a los 8 y 12 días de almacenamiento ésta se incrementó de manera considerable en todos los tratamientos; sin embargo, se puede apreciar que los tratamientos con altas concentraciones de CO₂ presentaron una menor carga microbiana comparada con los tratamientos de aire o baja concentración de oxígeno (3%), tanto en jícama del Bajío como en jícama de Nayarit.

6.5.4. Presencia de mal olor.

En 8 días de almacenamiento de cilindros de jícama del Bajío se percibió ligeramente mal olor a bajas concentraciones de O₂; a 12 días el mal olor fue severo en todos los tratamientos. La jícama de Nayarit no mostró desarrollo de mal olor en 8 días y se pudieron establecer diferencias a los 12 días de almacenamiento; los tratamientos con aire + 10% CO₂ y 3%O₂ + 5% de CO₂ no presentaron mal olor mientras que los tratamientos con aire, 3% O₂, 1% O₂, 3%O₂ + 10%CO₂ presentaron niveles intermedios, en tanto que una atmósfera de 1%O₂ + 10% CO₂ provocó el desarrollo de un mal olor severo (Figura 15).

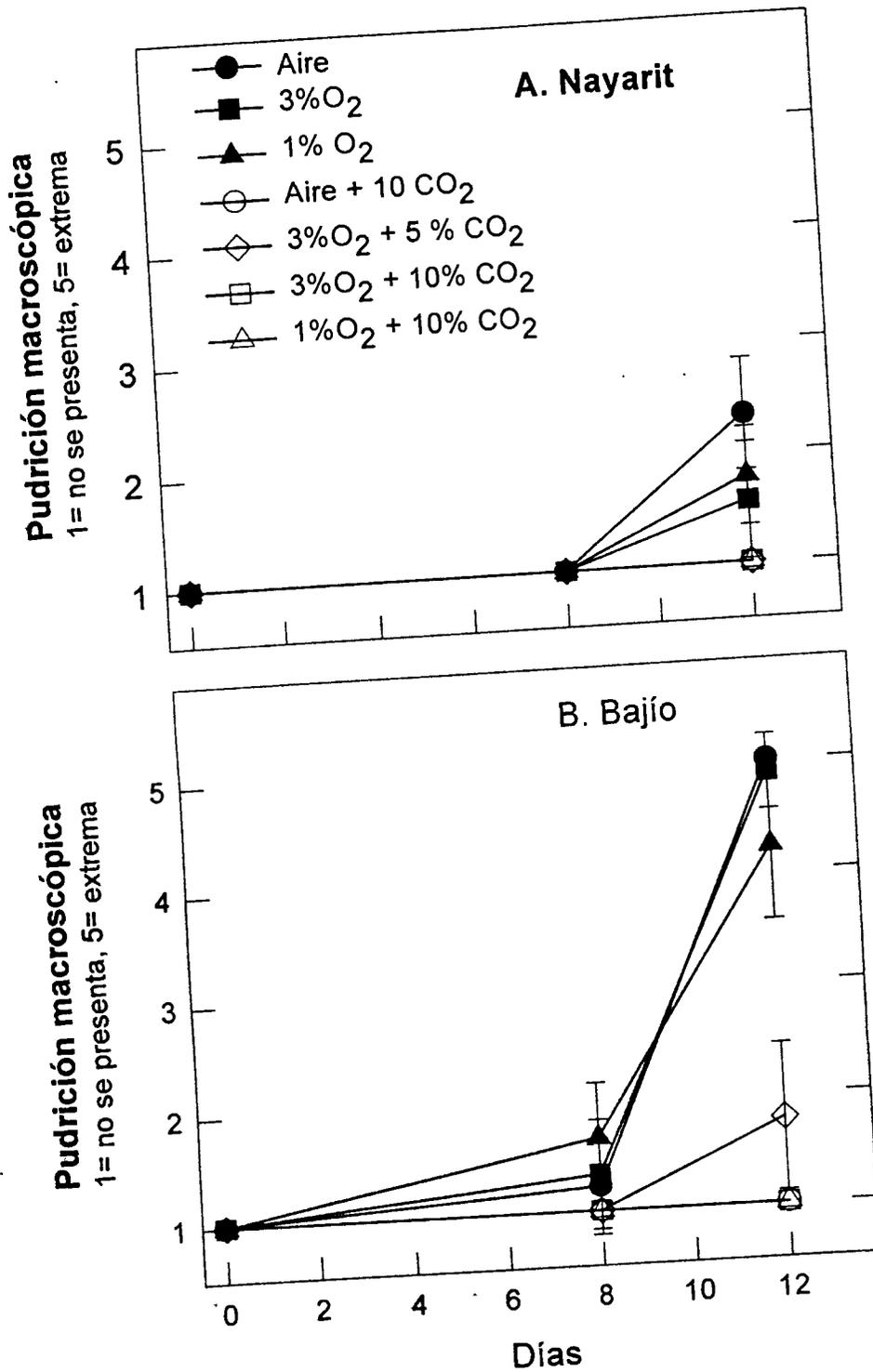


Figura 13. Presencia de pudrición macroscópica en cilindros de jícama de Nayarit (A) o del Bajío (B) almacenados a 5°C en diferentes atmósferas. Las barras indican \pm SD.

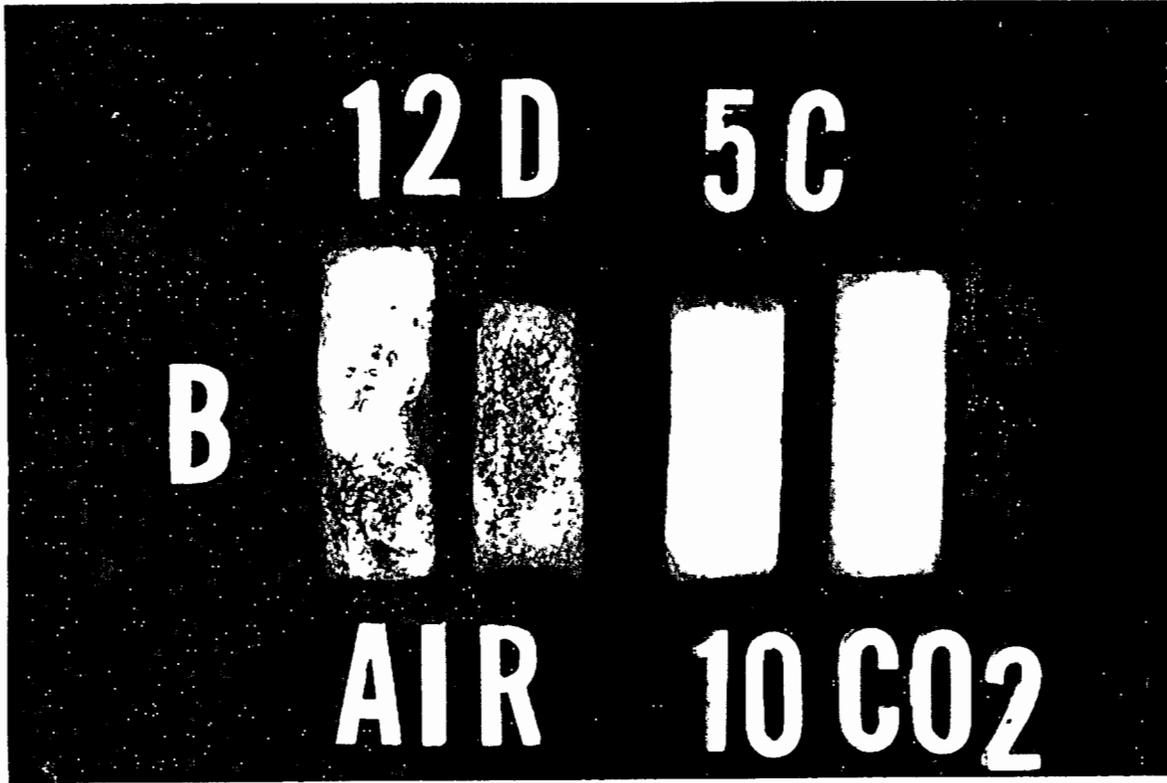


Figura 14. Presencia de pudrición macroscópica en cilindros de jícama del Bajío almacenados a 5°C en atmósferas de aire y 10% CO₂.

Cuadro 6. Cuenta total en placa de cilindros de jicama de Nayarit o del Bajío almacenados a 5°C en diferentes atmósferas.

| Origen | Tratamiento | Cuenta total en placa | | |
|---------|---|-----------------------|-------------------|----------------------|
| | | 0 | 8 | 12 días |
| Nayarit | Aire | 6.5×10^2 * | 1.9×10^7 | 4.0×10^9 |
| Nayarit | 3% O ₂ | 6.5×10^2 | 3.6×10^7 | 3.8×10^9 |
| Nayarit | 3% O ₂ + 5% CO ₂ | 6.5×10^2 | 3.9×10^6 | 6.0×10^9 |
| Nayarit | 3% O ₂ + 10% CO ₂ | 6.5×10^2 | 1.7×10^6 | 3.9×10^9 |
| Bajío | Aire | 1.4×10^4 | 4.2×10^8 | 1.0×10^{10} |
| Bajío | 3% O ₂ | 1.4×10^4 | 3.6×10^8 | 6.7×10^9 |
| Bajío | 3% O ₂ + 5% CO ₂ | 1.4×10^4 | 1.9×10^8 | 1.4×10^9 |
| Bajío | 3% O ₂ + 10% CO ₂ | 1.4×10^4 | 1.0×10^8 | 2.1×10^9 |

* Los datos son el promedio de duplicados.

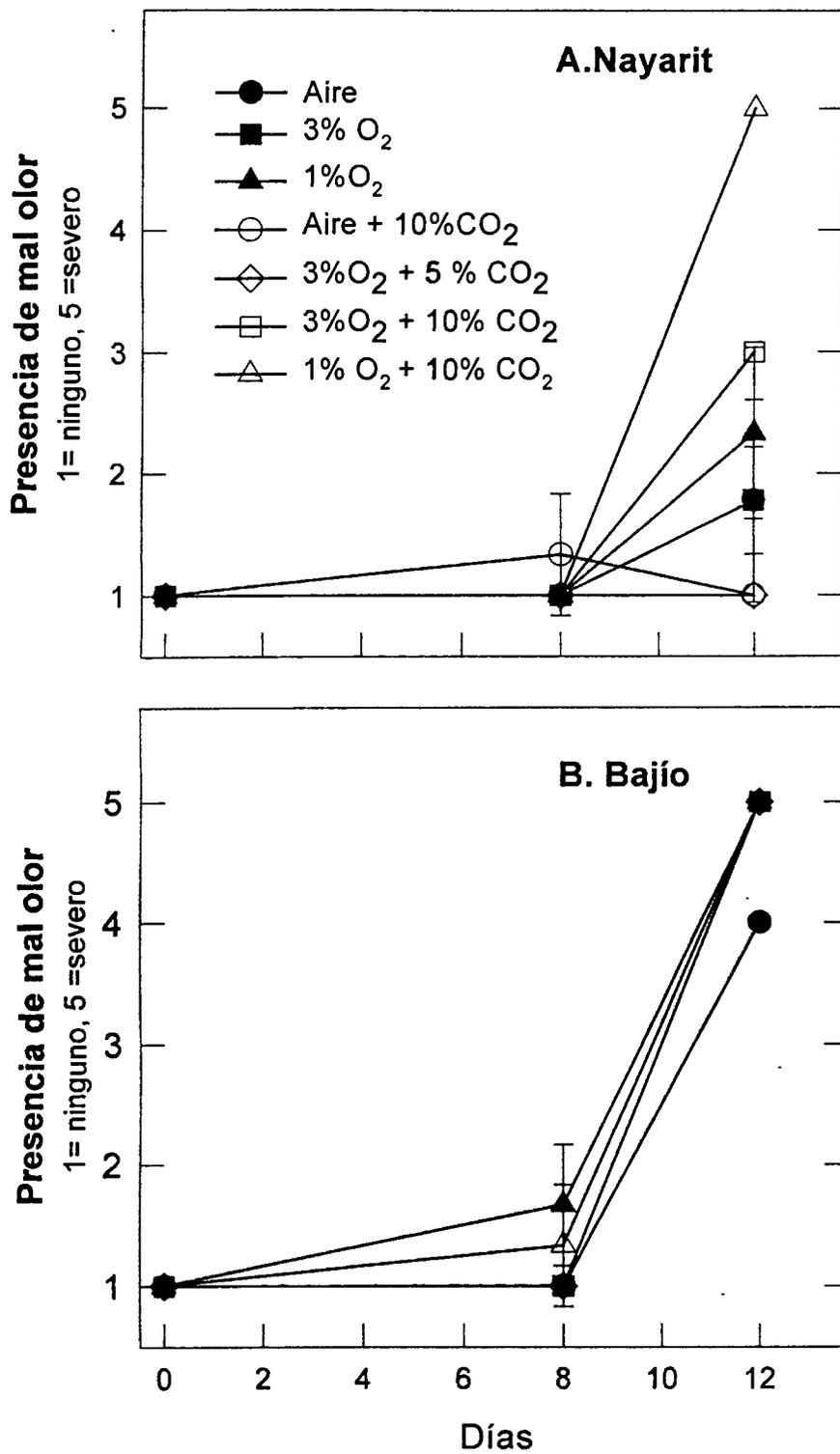


Figura 15. Desarrollo de mal olor en cilindros de jicama de Nayarit (A) o del Bajío (B) almacenados a 5°C en diferentes atmósferas. Las barras indican \pm SD.

6.5.5. Cambios en sabor

El sabor de cilindros de jícama de Nayarit tuvo pocos cambios, sólo disminuyó ligeramente cuando se mantuvo durante 12 días en atmósferas de 1% O₂ ó aire + 10% CO₂. Caso contrario ocurrió en los cilindros de jícama del Bajío los cuales cambiaron su sabor en 8 días de almacenamiento en aire o bajas concentraciones de O₂. A 12 días de almacenamiento no fueron probados por la presencia de pudrición macroscópica (Figura 16).

6.5.6. Textura.

De acuerdo con los datos obtenidos en el análisis estadístico no se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en la distancia al punto de ruptura y la fuerza de ruptura entre las muestras de Nayarit y las del Bajío, tampoco se encontraron diferencias de estos dos parámetros entre los tratamientos aplicados (Cuadro 7). Cabe señalar que en este estudio se utilizó una sonda de 3 mm con extremo redondeado.

6.6. Efecto de Atmósferas controladas sobre la calidad de cilindros de jícama almacenados a 5 y 10°C.

6.6.1. Cambios en calidad visual.

En cilindros de jícama almacenados a 5°C durante 8 días, no hubo pérdida significativa de su calidad y se mantuvieron dentro de la aceptación. Por el contrario a los 12 días se observaron fuertes diferencias entre los tratamientos. Las atmósferas con 10% CO₂ mantuvieron su calidad con mayor eficiencia cuando se combinaron con aire ó 0.3% de O₂. Cuando la concentración de CO₂ aumentó a 20% el producto sufrió daño (Figura 17 A). La velocidad de deterioro en cilindros de jícama almacenados a 10°C fue mayor que en los cilindros almacenados a 5°C. A 4 días de almacenamiento a 10°C solo atmósferas de 10 y 20% de CO₂

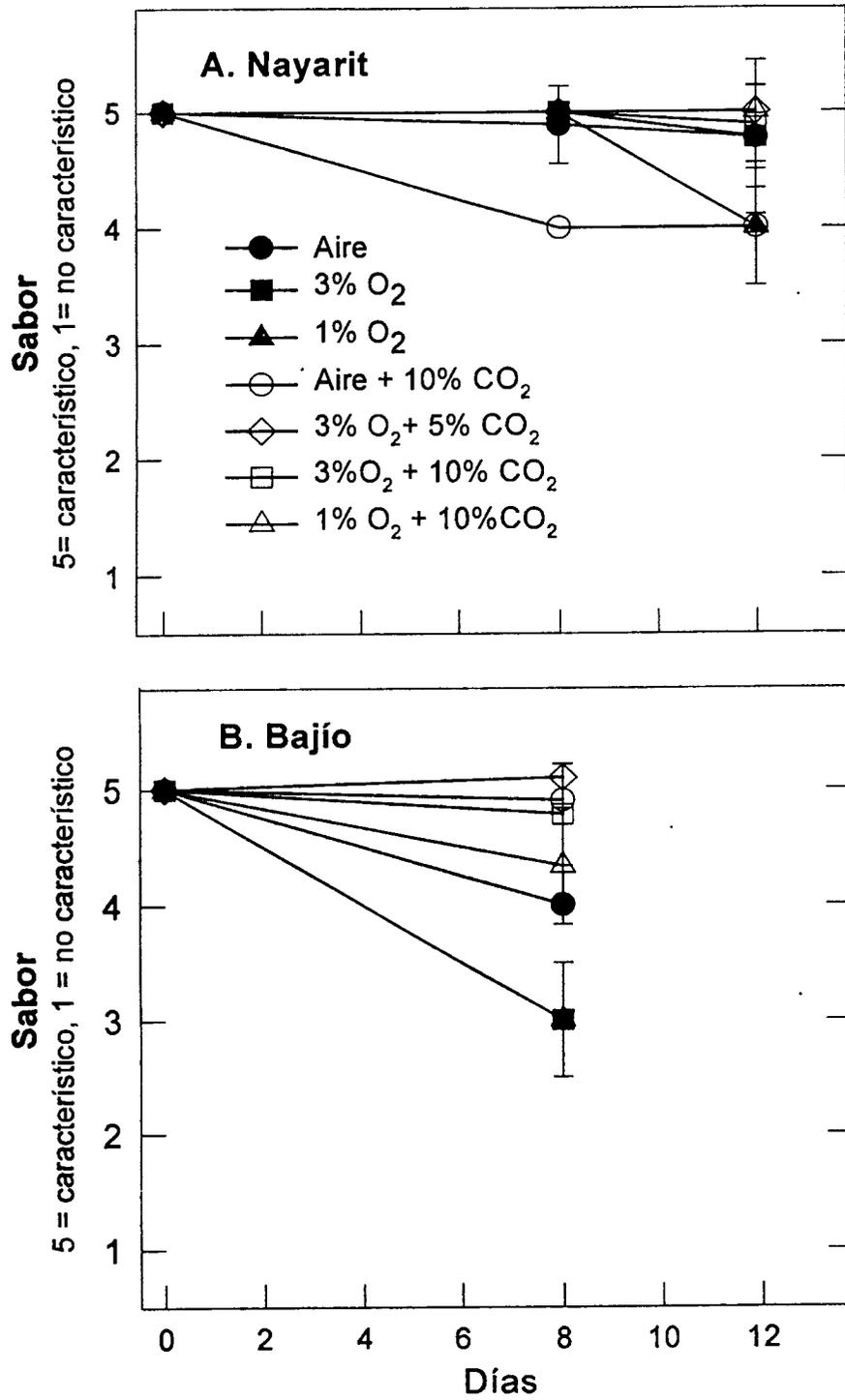


Figura 16. Cambios de sabor en cilindros de jícama de Nayarit (A) o del Bajío (B) almacenados a 5°C en diferentes atmósferas. Las barras indican \pm SD.

Cuadro 7. Distancia al punto de ruptura y fuerza de ruptura en cilindros de jícama de Nayarit y del Bajío a 0, 8 y 12 días de almacenamiento a 5°C en diferentes atmósferas, usando una sonda de 3 mm de diámetro.

| Tratamiento | Nayarit | | | | | | Bajío | | | | | |
|---|------------------------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|------------------------------------|-------------------|--------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|
| | Distancia al punto de ruptura (mm) | | | Fuerza de ruptura (N) | | | Distancia al punto de ruptura (mm) | | | Fuerza de ruptura (N) | | |
| | 0 | 8 | 12 | 0 | 8 | 12 | 0 | 8 | 12 | 0 | 8 | 12 d. |
| Aire (control) | 1.44 ^a | 1.15 ^a | 1.13 ^a | 6.19 ^a | 6.12 ^a | 5.92 ^a | 1.26 ^a | 1.47 ^a | 2.37 ^b | 5.48 ^a | 5.20 ^a | 5.56 ^a |
| 3% O ₂ | 1.44 ^a | 1.20 ^a | 1.25 ^a | 6.19 ^a | 6.03 ^a | 6.01 ^a | 1.26 ^a | 1.43 ^a | 1.48 ^{ab} | 5.48 ^a | 4.77 ^a | 3.84 ^a |
| 1% O ₂ | 1.44 ^a | 1.27 ^a | 1.17 ^a | 6.19 ^a | 7.87 ^a | 7.11 ^a | 1.26 ^a | 1.15 ^a | 1.36 ^a | 5.48 ^a | 4.72 ^a | 4.55 ^a |
| Aire + 10% CO ₂ | 1.44 ^a | 1.63 ^a | 1.48 ^a | 6.19 ^a | 9.15 ^b | 7.73 ^a | 1.26 ^a | 1.36 ^a | 1.73 ^{ab} | 5.48 ^a | 5.77 ^a | 6.11 ^a |
| 3% O ₂ + 10% CO ₂ | 1.44 ^a | 1.47 ^a | 1.34 ^a | 6.19 ^a | 7.09 ^a | 8.48 ^a | 1.26 ^a | 1.15 ^a | 1.10 ^a | 5.48 ^a | 4.53 ^a | 5.53 ^a |
| 3% O ₂ + 5% CO ₂ | 1.44 ^a | 1.22 ^a | 1.13 ^a | 6.19 ^a | 7.46 ^a | 6.58 ^a | 1.26 ^a | 0.93 ^a | 2.22 ^{ab} | 5.48 ^a | 4.38 ^a | 5.60 ^a |
| 1% O ₂ + 10% CO ₂ | 1.44 ^a | 1.15 ^a | 1.14 ^a | 6.19 ^a | 6.17 ^a | 6.76 ^a | 1.26 ^a | 0.89 ^a | 1.37 ^{ab} | 5.48 ^a | 3.56 ^a | 4.59 ^a |

Diferentes letras en la misma columna representan diferencias estadísticamente significativas para un parámetro (Tukey <0.05).

Cuadro 8. Angulo de matiz en cilindros de jicama del Bajío a 12 días de almacenamiento a 5°C en diferentes atmósferas.

| Tratamiento | media | SD |
|---|---------------------|------|
| Aire | 104.47 ^a | 5.60 |
| 3% O ₂ | 102.01 ^a | 5.85 |
| 0.3% O ₂ | 106.45 ^a | 5.40 |
| Aire + 10% CO ₂ | 111.55 ^b | 7.00 |
| 3% O ₂ +10% CO ₂ | 105.3 ^a | 4.90 |
| 0.3% O ₂ + 10% CO ₂ | 105.4 ^a | 2.19 |
| 3% O ₂ +20% CO ₂ | 103.65 ^a | 4.74 |

Diferentes letras en la misma columna representan diferencias estadísticamente significativas (Tukey <0.05).

19A). A los 8 días no se percibieron cambios en el sabor; a los 12 días solo los tratamientos con 10% CO₂ + aire ó 3% de oxígeno mantuvieron un sabor adecuado. El tratamiento con 10% CO₂ + 0.3% O₂ pierde ligeramente su sabor (Figura 19B). Durante 4 días de almacenamiento a temperatura de 10°C no se observó desarrollo de microorganismos, sin embargo a los 8 días se presentó en forma aguda en todos los tratamientos (datos no mostrados).

6.6.4. Textura.

Con el objeto de realizar una prueba de textura que mostrara diferencias entre los tratamientos, se cambió la sonda de extremo redondeado y 3 mm de diámetro por otra de 5 mm con extremo plano. Se observó que la distancia al punto de ruptura, así como la fuerza de ruptura, incrementaron sus valores respecto a los valores obtenidos con la sonda de 3 mm en los experimentos anteriores, sin embargo, a los 0 y 12 días no se encontraron diferencias en la distancia al punto de ruptura, pero a los 8 días el tratamiento de 3% de O₂ y 20% de CO₂ mostró el menor valor en tanto que el de aire + 10% de CO₂ obtuvo el mayor. Respecto a la fuerza de ruptura, no se encontraron diferencias en estos parámetros al inicio y 8 días de almacenamiento, pero a los 12 días se obtuvo una mayor fuerza en el tratamiento de 0.3% O₂ + 10% de CO₂ y la menor fuerza se encontró en el tratamiento de 0.3% de O₂ (Cuadro 9). Una de las explicaciones a la variabilidad encontrada en estas determinaciones es que al desarrollarse las mediciones probablemente hubo ligeras flexiones o desplazamientos laterales de la muestra con respecto al viaje de la sonda y la placa de soporte lo cual pudo haber provocado una mayor dispersión de los datos.

6.6.5. Producción de acetaldehído y etanol.

Los cambios de acetaldehído y etanol en los tratamientos se observan en la Figura 20. A los 8 días de almacenamiento en una atmósfera de aire, la

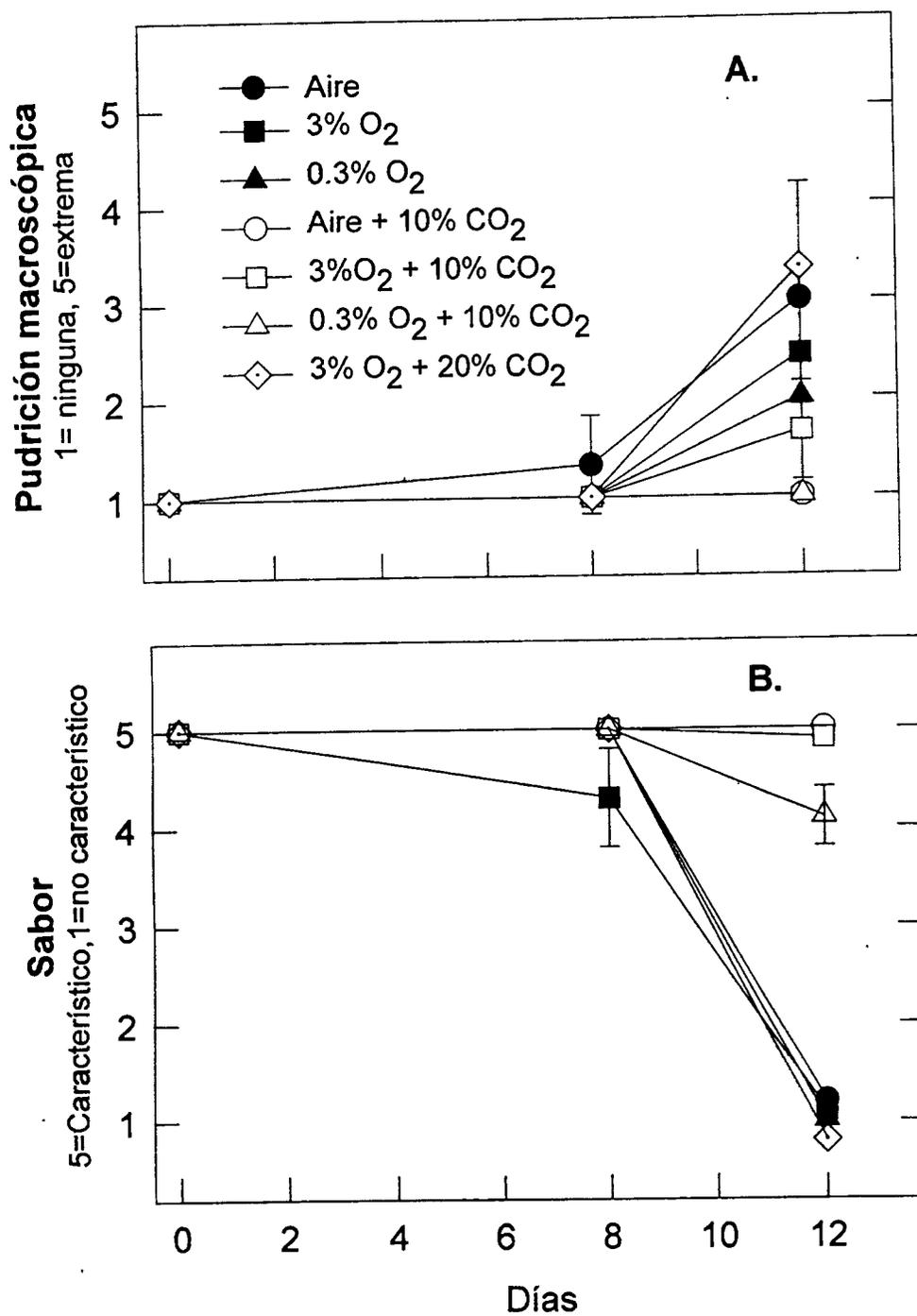


Figura 19. Desarrollo de pudrición macroscópica (A) y cambios de sabor (B) en cilindros de jícama almacenados a 5°C en diferentes atmósferas. Las barras indican \pm SD.

Cuadro 9. Distancia al punto de ruptura y fuerza de ruptura en cilindros de jicama del Bajío a 0, 8 y 12 días de almacenamiento a 5 °C en diferentes atmósferas, usando una sonda de 5 mm.

| Tratamiento | Distancia al punto de ruptura (mm) | | | Fuerza de ruptura (N) | | |
|---|------------------------------------|--------------------|-------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| | 0 | 8 | 12 | 0 | 8 | 12 días |
| Aire | 2.08 ^a | 2.40 ^{ab} | 3.02 ^a | 25.96 ^a | 31.41 ^a | 27.21 ^{ab} |
| 3% O ₂ | 2.08 ^a | 2.22 ^{ab} | 2.33 ^a | 25.96 ^a | 27.54 ^a | 28.96 ^{ab} |
| 0.3% O ₂ | 2.08 ^a | 2.10 ^{ab} | 2.42 ^a | 25.96 ^a | 25.07 ^a | 27.18 ^a |
| Aire + 10% CO ₂ | 2.08 ^a | 2.77 ^b | 2.16 ^a | 25.96 ^a | 31.37 ^a | 23.26 ^{ab} |
| 3% O ₂ +10% CO ₂ | 2.08 ^a | 2.13 ^{ab} | 2.92 ^a | 25.96 ^a | 27.29 ^a | 30.57 ^{ab} |
| 0.3% O ₂ + 10% CO ₂ | 2.08 ^a | 2.15 ^{ab} | 2.58 ^a | 25.96 ^a | 24.20 ^a | 32.62 ^b |
| 3% O ₂ +20% CO ₂ | 2.08 ^a | 1.94 ^b | 2.45 ^a | 25.96 ^a | 27.89 ^a | 29.41 ^{ab} |

Diferentes letras en la misma columna representan diferencias estadísticamente significativas (Tukey <0.05).

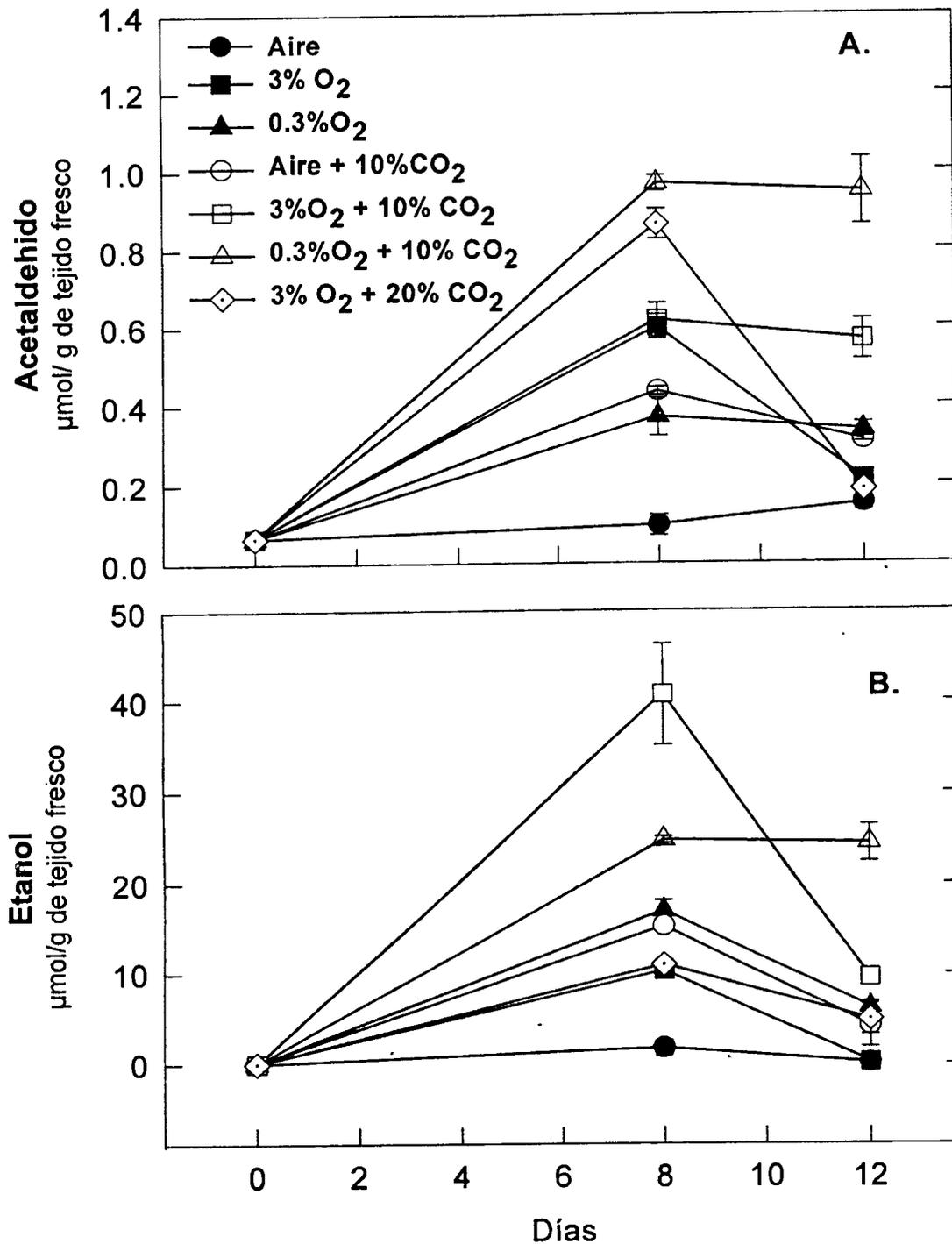


Figura 20. Producción de acetaldehído (A) y etanol (B) en cilindros de jícama almacenados a 5°C en diferentes atmósferas. Las barras indican \pm SD.

producción de acetaldehído se incrementó solo de manera muy ligera, mientras que en atmósferas de 10% de CO₂, la producción de este producto se incrementó 4 veces. Al disminuir la concentración de O₂ a 3%, los niveles de acetaldehído se incrementaron de 6-6.5 veces, en tanto que en concentraciones extremas como son 0.3% de O₂ y/o 20% de CO₂, los niveles se incrementaron alrededor de 10 veces con respecto a la producción de acetaldehído en aire durante este mismo periodo de almacenamiento (Figura 20A).

En algunos tratamientos, a los 12 días de almacenamiento la concentración de acetaldehído tendió a disminuir, mientras que en otros se mantuvo. La producción de etanol en aire no se incrementó, pero en atmósferas con 20% de CO₂ y/o 3% de O₂ los niveles se incrementaron hasta 10 veces (Figura 20B).

6.7. Efecto de la temperatura y atmósferas controladas sobre la calidad de cilindros de jícama de diferentes variedades.

Las variedades 7, 8 y 9 referidas en el Apéndice C, Cuadro C1 no fueron sometidas a los tratamientos de aire a 0 y 5 °C, por no contarse con suficiente material para el estudio.

6.7.1 Calidad visual.

El comportamiento de todas las variedades de *P. erosus* fue muy similar, por lo que se promediaron sus valores para dar una referencia general.

El cuadro 10 muestra el comportamiento de cilindros de jícama de diferentes variedades almacenados en cuatro diferentes tratamientos. Los cilindros a 0°C disminuyeron su calidad de excelente a buena después de 8 días de almacenamiento, no se observaron diferencias entre las variedades (Apéndice

Cuadro 10. Calidad visual, oscurecimiento, y pudriciones macroscópicas en cilindros de 6 variedades de jícama almacenados en diferentes condiciones.

| Parámetro | Tratamiento | 4 | 8 | 12 días |
|----------------------------|------------------------------------|------|--------------------|-------------------|
| Calidad visual | | | | |
| | 1. 0°C, Aire | - | 8.25 ^c | 7.0 ^b |
| | 2. 5°C, Aire | - | 5.03 ^b | 2.07 ^a |
| | 3. 10°C, Aire | 3.92 | 1.94 ^a | - |
| | 4. 5°C, Aire + 10% CO ₂ | - | 5.29 ^b | 2.33 ^a |
| Oscurecimiento | | | | |
| | 1. 0°C, Aire | - | 1.00 ^d | 1.03 ^c |
| | 2. 5°C, Aire | - | 1.64 ^e | 1.70 ^d |
| | 3. 10°C, Aire | 2.80 | 3.93 ^f | - |
| | 4. 5°C, Aire + 10% CO ₂ | - | 1.48 ^e | 1.30 ^c |
| Pudriciones macroscópicas. | | | | |
| | 1. 0°C, Aire | - | 1.00 ^g | 3.00 ^e |
| | 2. 5°C, Aire | - | 2.66 ^{gh} | 5.0 ^f |
| | 3. 10°C, Aire | 1.15 | 3.50 ^h | - |
| | 4. 5°C, Aire + 10% CO ₂ | - | 2.26 ^g | 4.9 ^f |

Diferentes letras en la misma columna representan diferencias estadísticamente significativas para un parámetro (Tukey <0.05).

C, Cuadro C1). Las muestras almacenadas a 10°C disminuyeron su calidad rápidamente, incluso a los cuatro días de almacenamiento, y todas las variedades presentaron calidad por debajo de la mínima aceptable (valor de 6).

En el tratamiento de aire a 5°C se observó que la calidad disminuyó a los 8 días de almacenamiento de excelente a regular (Cuadro 10), la variedad número 6 que corresponde a una cruce de las especies *P. ahipa* y *P. erosus* mostró mejor calidad que las demás (Apéndice C, Cuadro C1). A los 12 días se observó una disminución drástica de la calidad en todas las variedades. En las muestras conservadas en atmósferas controladas (Aire + 10% de CO₂) y 5°C se observó que la calidad de las seis primeras variedades no presentaron diferencias con respecto a las muestras almacenadas en aire a la misma temperatura y las variedades 8 y 9 presentaron mejor calidad a los 8 días, pero a los 12 días su calidad disminuyó a valores de 3 (Apéndice C, Cuadro C1).

6.7.2.Oscurecimiento.

No se presentó oscurecimiento en muestras almacenadas en aire a 0°C (Cuadro 10), mientras que a 10°C el oscurecimiento fue evidente dentro de los primeros 4 días de almacenamiento. Todas las variedades se oscurecieron en forma severa a los 8 días de almacenamiento a 10°C (Apéndice C, Cuadro C2).

Un oscurecimiento ligero se presentó en cilindros de jícama almacenados a 5°C en aire ó aire + 10% de CO₂ (Cuadro 10). Un efecto benéfico de las atmósferas controladas sólo se observó en la variedad 1 después de 12 días de almacenamiento, ya que en aire presentó oscurecimiento moderado y en atmósferas controladas el oscurecimiento fue ligero (Apéndice C, Cuadro C2).

6.7.3. Desarrollo de microorganismos.

Estas variedades presentaron gran susceptibilidad al desarrollo de microorganismos, en aire a 0°C la presencia de microorganismos fue moderada en el día 12 (Cuadro 10). En aire a 10°C las variedades 7, 8 y 9 mostraron una mayor susceptibilidad mientras que las 6 primeras presentaron desarrollo después de 4 días (Apéndice C, Cuadro C3). En este caso las atmósferas controladas no lograron detener el desarrollo de microorganismos.

6.7.4. Cambios de color y textura.

En el Cuadro 11 se observa el análisis de medias del parámetro de cromaticidad de cilindros de diferentes variedades de jícama. Este parámetro se incrementó a mayor temperatura, durante el almacenamiento a 10°C se observó un incremento drástico y no se apreció diferencia estadística entre los tratamientos a 5°C en aire y en atmósferas controladas.

El ángulo de matiz no cambió a temperaturas de 0 y 5°C, en cambio a 10°C disminuyó rápidamente (Cuadro 11).

Sólo el almacenamiento a 5°C en atmósferas controladas mantuvo la firmeza en cilindros de jícama durante 8 días, ya que en los tratamientos restantes aumentó la distancia al punto de ruptura lo que significa que se perdió turgencia a esas temperaturas (Cuadro 11).

6.8. Efecto del almacenamiento de la jícama intacta sobre el producto mínimamente procesado.

Cuando se almacenaron a 5°C cilindros de jícama de Michoacán recién cosechada, se observó que la calidad visual se mantuvo por más de 14 días

Cuadro 11. Distancia al punto de ruptura (usando una sonda de 5 mm), cromaticidad y ángulo de matiz en cilindros de 6 variedades de jícama almacenados en diferentes condiciones.

| Parámetro | Tratamiento | 4 | 8 | 12 días |
|------------------------------------|------------------------------------|-------|--------------------|---------|
| Distancia al punto de ruptura (mm) | 1. 0°C, Aire | - | 2.23 ^b | 2.96 |
| | 2. 5°C, Aire | - | 2.10 ^b | - |
| | 3. 10°C, Aire | 2.04 | 2.34 ^b | - |
| | 4. 5°C, Aire + 10% CO ₂ | - | 1.68 ^a | - |
| Cromaticidad | 1. 0°C, Aire | - | 3.96 ^d | 4.20 |
| | 2. 5°C, Aire | - | 6.40 ^e | - |
| | 3. 10°C, Aire | 8.98 | 12.29 ^f | - |
| | 4. 5°C, Aire + 10% CO ₂ | - | 5.80 ^e | - |
| Angulo de matiz | 1. 0°C, Aire | - | 99.04 ^h | 100.77 |
| | 2. 5°C, Aire | - | 98.51 ^h | - |
| | 3. 10°C, Aire | 85.92 | 80.11 ^g | - |
| | 4. 5°C, Aire + 10% CO ₂ | - | 98.65 ^h | - |

Diferentes letras en la misma columna representan diferencias estadísticamente significativas para un parámetro (Tukey <0.05).

(Figura 21 A) en todos los tratamientos. Las piezas de jicamà previamente almacenadas perdieron su calidad visual más rápidamente (Figura 21B). La distancia al punto de ruptura permitió observar que los cilindros obtenidos de jicamà almacenada pierden más fácilmente su calidad (Fig. 22A), sin embargo, la fuerza de ruptura no mostró ninguna tendencia (Figura 22B). Los cambios de color se muestran en la Figura 23, la cromaticidad se mantuvo constante en aire; en tanto que en atmósferas controladas disminuyó en mayor medida en el tratamiento de aire + 13% CO₂. En el almacenamiento en atmósferas controladas no se observaron cambios en el ángulo de matiz, sin embargo en el almacenamiento en aire este parámetro disminuyó.

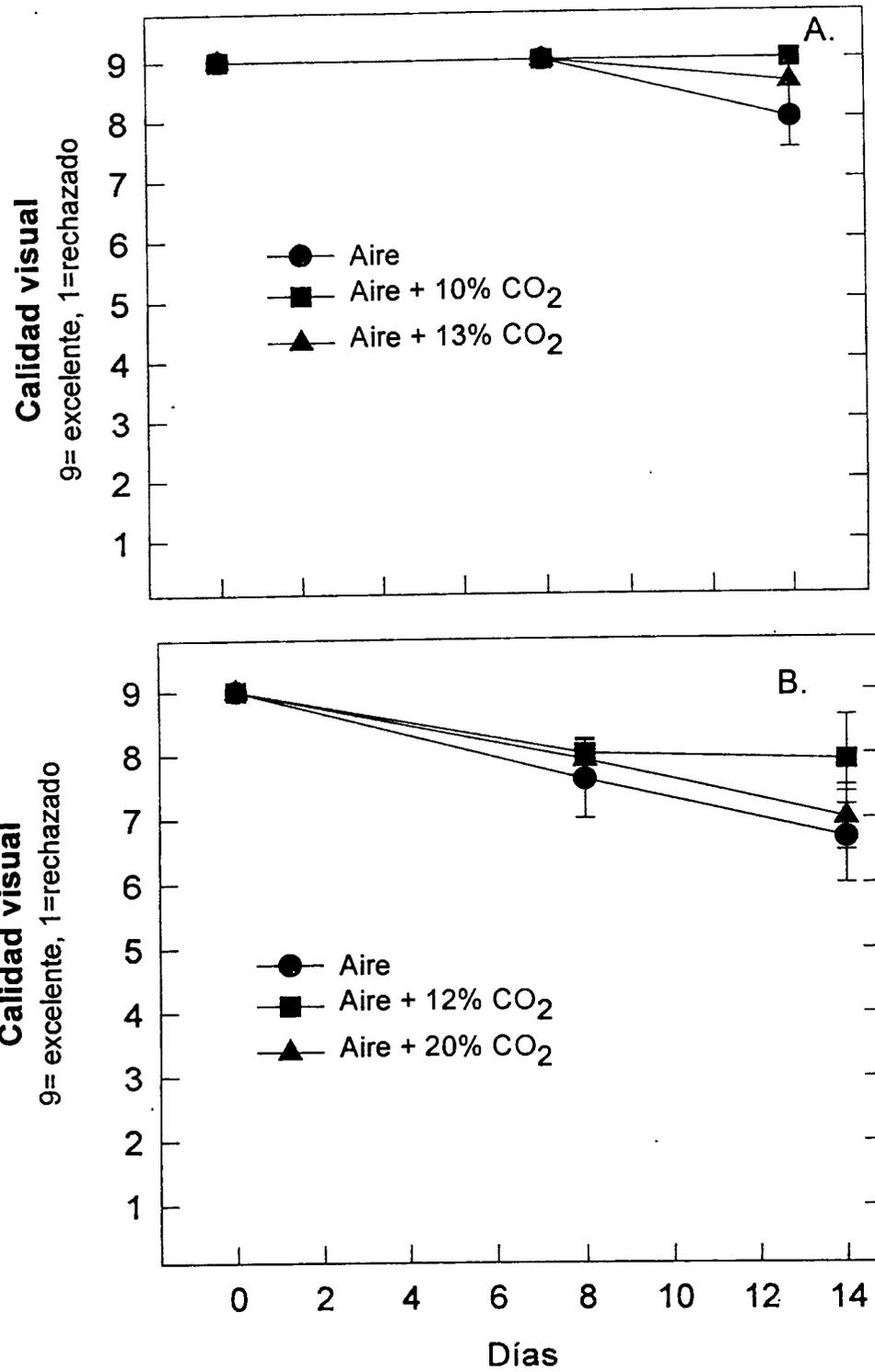


Figura 21. Cambios de calidad visual en cilindros obtenidos de jícama de Michoacán sin almacenar (A) y almacenada durante 15 días (B) a temperatura ambiente. Las barras indican \pm SD.

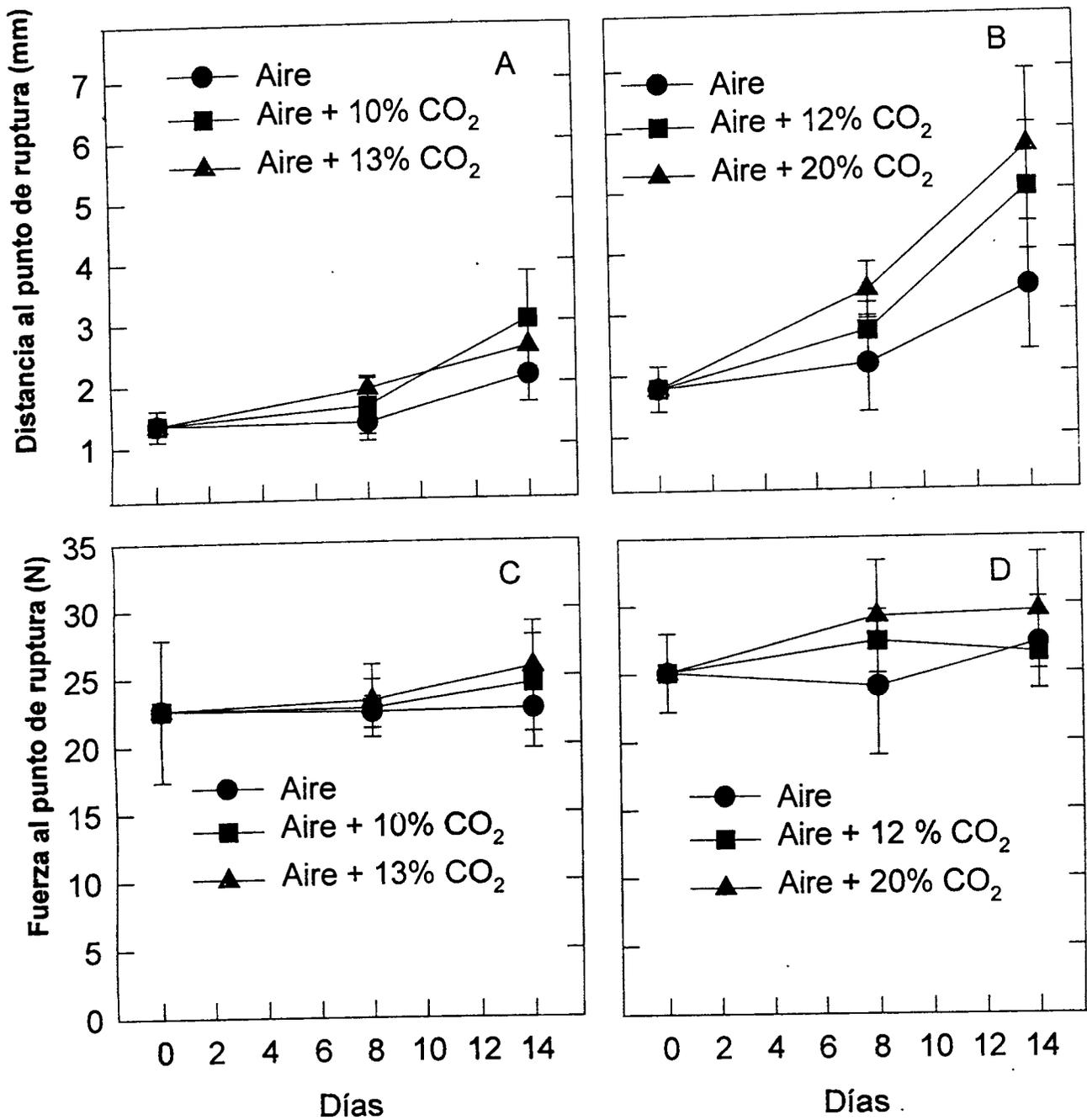


Figura 22. Distancia y fuerza al punto de penetración en cilindros obtenidos de jícama de Michoacán sin almacenar (A y C) y almacenada durante 15 días (B y D) a temperatura ambiente. Las barras indican \pm SD.

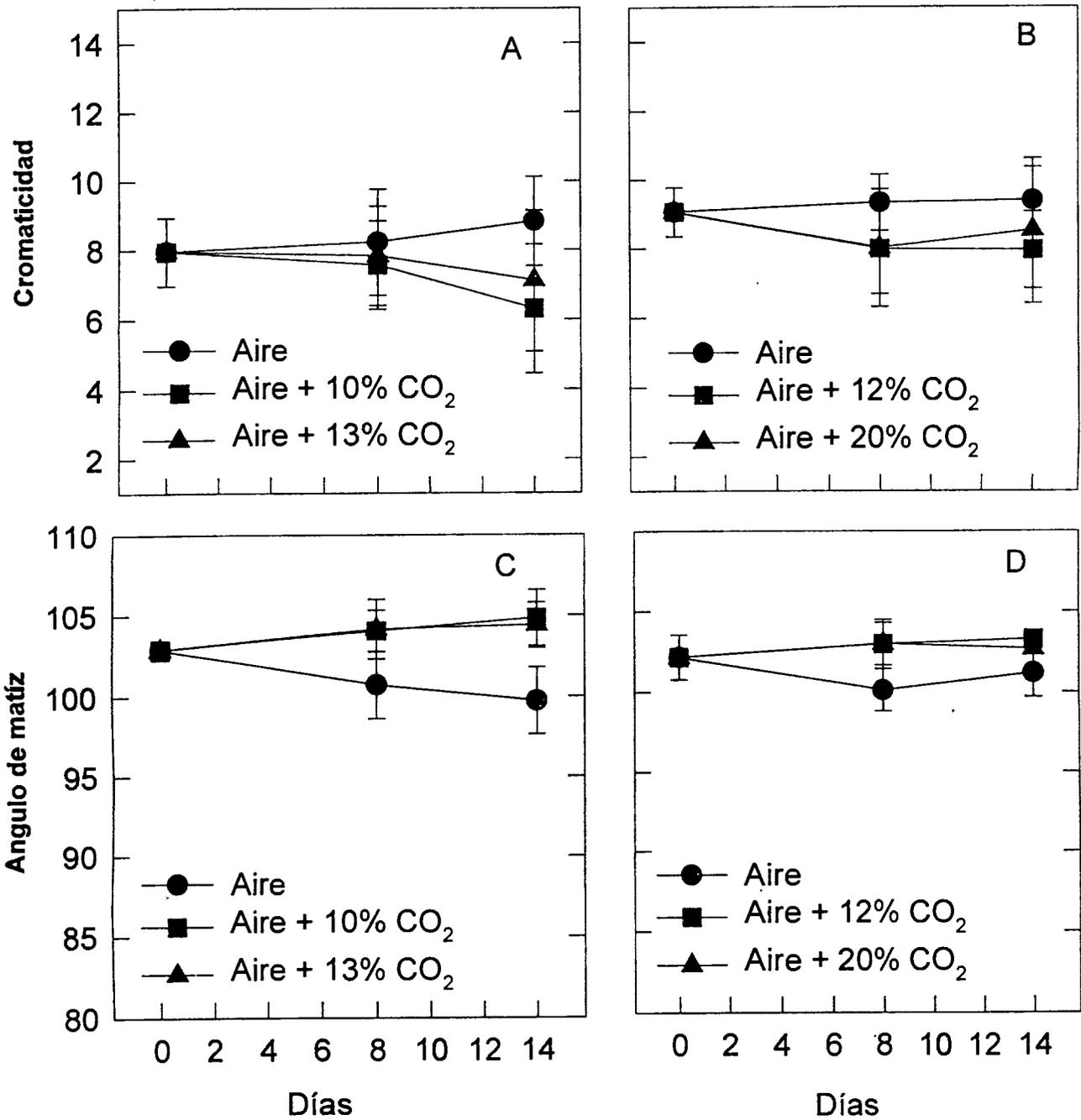


Figura 23. Cromaticidad y ángulo de matiz en cilindros obtenidos de jícama de Michoacán sin almacenar (A y C) y almacenada durante 15 días (B y D) a temperatura ambiente. Las barras indican \pm SD.

7. DISCUSIÓN.

La tasa de respiración de jícama en cilindros a 0°C fue muy similar a la tasa de respiración de jícama intacta a esa temperatura, este comportamiento también se ha observado en ejotes cortados, calabaza, chile bell y tomate en rebanadas (Watada et al., 1996); sin embargo, estos mismos autores reportaron que la zanahoria en rebanadas, el melón en cubos y la lechuga cortada aumentaron su tasa de respiración a esa temperatura.

A 5, 10 y 15°C las tasas de respiración fueron mayores respecto de la jícama intacta y se incrementaron también en forma proporcional a la temperatura. El cálculo del factor Q_{10} entre las temperaturas 5 y 15 °C permite observar incremento del 61% en este factor al pasar por estas dos temperaturas. El tiempo requerido para mostrar los incrementos en la respiración fue mayor a 5°C y a 10°C; a 15°C la tasa de respiración fue notablemente mayor, esto lo muestran los incrementos de 65, 55 y 166% en las tasas de respiración a cada una de las temperaturas mencionadas. Este comportamiento lo describieron también Watada et al. (1996) y Cantwell (1998b) para varios productos y Gorny (1997) en el caso de papa. Los datos mostrados por estos autores también indicaron que el cambio de temperatura por arriba de 10°C incrementa la tasa de respiración en forma drástica.

La jícama intacta almacenada a 12.5°C mostró una tasa de respiración mayor que la almacenada a 10°C, lo anterior no concuerda con lo observado por Cantwell et al. (1992) quienes reportaron un comportamiento inverso, esto lo asociaron a la incidencia de daño por frío en la raíz; sin embargo, no se puede hacer inferencia de estos datos ya que el tiempo de almacenamiento utilizado en este estudio fue de solamente 10 días.

Las relaciones área/volumen de las figuras de jícama utilizadas en este estudio fueron de 1.7, 3.1 y 3.2 cm^{-1} para los cilindros, barras y discos,

respectivamente; se esperaba que las piezas de mayor relación área/volumen tuvieran una mayor tasa de respiración a las diferentes temperaturas, tal como lo señalan Watada et al. (1996); Cantwell (1998a) y Rosen y Kader (1989). No obstante, la diferencia entre las relaciones de área/volumen de los cilindros y los discos o barras, no se encontraron diferencias en este factor, siendo más importante el factor temperatura donde se encontró mayor tasa de respiración a 10 °C que a 5°C. Salveit (1998) indicó que la respuesta del tejido al daño generalmente se incrementa con la severidad de este, sin embargo, también indicó que después de haberse alcanzado cierto nivel de daño, los daños adicionales no incrementan la respuesta, sugiriendo que esto puede ocurrir debido al traslape de las áreas dañadas. Lo anterior podría explicar la similitud en la tasas de respiración de las formas geométricas estudiadas en este trabajo. Sin embargo, esta respuesta al daño depende también del tipo de hortaliza o fruta y de su estado de madurez; Cantwell (1998a) reportó que los segmentos largos de zanahoria tuvieron la misma velocidad de respiración que las zanahorias intactas y Rosen y Kader (1989) tampoco encontraron cambios en plátano en estado maduro o pera y fresa en rebanadas.

El cambio de color en los productos mínimamente procesados es uno de los problemas más importantes a seguir durante la conservación de estos productos y éste cambio de color se ha asociado con la generación de fenoles (Hyodo et al, 1978). El metabolismo de los fenoles (fenil propanoides) se ha asociado con la respuesta a los diferentes tipos de estrés (Ke y Saltveit, 1989), incluyendo el daño mecánico, así como también se ha asociado la actividad de PAL y PPO con la generación de estos compuestos y el desarrollo de oscurecimiento en el tejido, también se ha correlacionado con la temperatura, a mayor temperatura mayor oscurecimiento (López-Gálvez et al., 1996).

Los valores de actividad de PAL en los discos de jicama a las distintas temperaturas fueron menores respecto de los valores reportados por López-Galvéz et al. (1996) para híbridos de lechuga de tamaño similar al estudiado en

jícama, estos autores también muestran que el incremento en actividad de PAL se presentó en lapsos de tiempo muy cortos (0-48 h), en tanto que en jícama se presentó a los 4 y 6 días para las temperaturas de 10 y 7.5°C respectivamente, este aspecto podría explicar el mayor tiempo necesario para mostrar oscurecimiento en el caso de jícama.

Como se comentó en la sección de resultados, la actividad máxima de PAL a 10°C se adelantó dos días respecto del máximo obtenido a 7.5°C, este comportamiento también fue observado por López-Galvéz et al. (1996); Ritenour et al. (1995) y Hyodo et al. (1978). Después de este máximo disminuyó la actividad. Este comportamiento se ha estudiado por varios autores en tejidos intactos quienes describen la presencia de un inhibidor de tipo proteico de peso molecular más bajo que la enzima (Creasy, 1976; Creasy et al., 1986; Strack, 1996). Creasy et al. (1986) suponen que el flujo global de la síntesis de la enzima debe estar controlada por la cantidad de enzima disponible para utilizar el sustrato disponible y consideraron que la disponibilidad de sustrato está controlado bajo límites estrechos, o también que la velocidad de síntesis de la enzima está determinada por una constante de síntesis de orden cero y la tasa de inactivación tendría una reacción de primer orden.

Los niveles iniciales del contenido de fenoles fueron similares a los encontrados por Paull y Chen (1988) en la jícama intacta pero en jícama mínimamente procesada se incrementaron más rápidamente.

Se ha considerado que la enzima polifenol oxidasa (PPO) tiene un papel importante en el oscurecimiento de tejidos de frutas y hortalizas (Hanson y Havis, 1979) debido a que puede oxidar a los compuestos fenólicos y por lo tanto producir cambios de color. Sin embargo, la comparación de la actividad de PPO con la cromaticidad sólo mostró una relación parcial especialmente en los días 4 y 5 del almacenamiento; pero los mayores cambios de cromaticidad encontrados no corresponden a las mayores actividades de la enzima. Los resultados parecen

indicar que la sola actividad de esta enzima no explica completamente el oscurecimiento. De esta relación se pensaría que la síntesis de fenoles debe estar relacionada con los cambios de color y, por lo tanto, la actividad de PAL debería tener también una relación con el cambio de color. Esta correlación se satisface hasta los 6 días de almacenamiento pero no se cumple después de este periodo. La comparación de las gráficas 6B, 6C y 6D sugiere que los cambios de color están más relacionados con la concentración de fenoles presentes que la actividad lograda por la enzima PPO como se demuestra en la Figura B4 del Apéndice B, lo cual indica que el factor limitante para que se de el cambio de color en el tejido de jícama es la concentración de fenoles. También otros autores como Hyodo et al. (1978) no observaron una correlación entre el incremento de la actividad de PPO y el desarrollo de manchas en hojas de lechuga almacenadas en presencia de etileno.

Lattancio et al. (1988 y 1994), aunque sin aportar datos, propusieron que el oscurecimiento en plantas puede ser una combinación de un mecanismo enzimático y un mecanismo no enzimático; en el primer caso la oxidación de los compuestos fenólicos es catalizada por la actividad de PPO, mientras que el segundo mecanismo se produciría por la descompartimentalización de la célula provocando la salida de iones como el hierro, los cuales reaccionarían con los fenoles para formar un complejo incoloro, el cual por una posterior oxidación con el oxígeno formarían un compuesto coloreado.

La producción de fenoles se ha asociado a los procesos de cicatrización de heridas como lo han demostrado Walter et al. (1990) en tejido de pepino, Sukumaran et al. (1990) en papa y Lagrimini et al. (1993) en plantas y frutos transgénicos de tomate. También se ha indicado que la raíz de jícama dañada superficialmente es capaz de regenerar su peridermo (Cantwell et al., 1998). Todo ello sugiere que la síntesis de compuestos fenólicos en jícama pareciera ser parte de las etapas de la cicatrización, pero que ésta no se termina debido a la extensión del daño y a las condiciones ambientales. Sin embargo, la acumulación

de fenoles sintetizados podría facilitar la acción posterior de PPO. No obstante, también es importante señalar que es posible que otras enzimas como la peroxidasa pudieran estar formando parte del proceso de cambio. Se han observado incrementos de la actividad de esta enzima que estuvieron asociados a la formación de compuestos fenólicos en calabaza (*Cucurbita maxima*) (Hyodo et al., 1991). Lagrimini et al. (1993) indicaron que la pared celular contiene enzimas y sustratos para construir estas barreras formadas por celulosa, lignina y suberina, y que las enzimas que pueden catalizar varias de estas reacciones son las peroxidases. Si consideramos que algunas formas de la peroxidasa llevan a cabo reacciones de peroxidación, en donde algunos compuestos fenólicos pueden ser donadores de hidrógeno y así formar polímeros (Whitaker, 1994), es posible que esta enzima también esté involucrada en los procesos de cambio de color.

Los resultados muestran que a una menor temperatura existe una menor pérdida de calidad, esto ha sido observado por otros autores como Watada et al. (1996) quienes indicaron que la respuesta al daño depende de la temperatura de almacenamiento. Esto se debe a que la velocidad de las reacciones metabólicas que se inducen por el daño se reducen de 2 a 3 veces por cada 10°C de disminución de temperatura. El comportamiento de los cilindros fue inverso que en la raíz intacta ya que ésta última es sensible al daño por frío, y en cilindros fueron necesarias temperaturas de 0 a 5 °C para detener la aparición del oscurecimiento y el desarrollo de pudriciones macroscópicas.

Las atmósferas con 10% de CO₂ con aire ó 0.3% de O₂ fueron las que mantuvieron la calidad visual y su sabor sin cambio de color, además que no mostraron desarrollo de pudriciones macroscópicas. Portela et al. (1997) también reportaron que las concentraciones de 7.5 y 15% de CO₂ redujeron la cuenta microbiana en cilindros de melón cantaloupe. De igual forma López-Gálvez et al. (1997a) reportaron los efectos benéficos de las atmósferas controladas en la lechuga. Las atmósferas controladas disminuyeron la velocidad de respiración y tuvieron un efecto benéfico sobre la calidad visual y el desarrollo de

microorganismos en fresa pelada (1% O₂ + 10% CO₂), durazno cortado (1% O₂ + 5% CO₂), y cubos de melón (2% O₂ + 10% CO₂) (Qi y Watada, 1997).

La baja concentración de oxígeno es benéfica para mantener la calidad de frutas mínimamente procesadas como manzana, pera y discos de fresa (Qi y Watada, 1997). El almacenamiento de piezas de pera en atmósferas de 0.5% O₂ fue efectivo para reducir la producción de CO₂ y minimizar el oscurecimiento y la pérdida de firmeza (Rosen y Kader, 1989). De igual forma estos autores reportaron que se retiene la firmeza en fresa cuando es almacenada en 12 % CO₂, aunque esto depende del cultivar. La conservación en atmósferas con 12% CO₂ ayudó a mantener la calidad de fresa (Qi y Watada, 1997). De igual forma los discos de Kiwi aumentaron su vida poscosecha de 9 a 12 días a 0.5°C en atmósferas de 4%O₂+10% CO₂ (Agar et al., 1997).

Mateos et al. (1993) midieron la actividad de PAL en lechuga mínimamente procesada, encontrando que en concentraciones menores de 20% de CO₂ la actividad se redujo como resultado de un decremento en el pH citoplásmico. Siriphanich y Kader (1985) encontraron que el pH citoplásmico del tejido de lechuga en aire fue 6.7, mientras que en tejido expuesto a 20% de CO₂ el pH fue de 6.3, el pH óptimo de PAL es de 8.5 (Siriphanich y Kader, 1985), por lo tanto la reducción del pH trajo consigo la disminución de actividad de PAL y esto disminuyó la síntesis de fenoles disminuyendo el oscurecimiento del tejido y el desarrollo de microorganismos. Esto podría explicar los cambios menores de color obtenidos en la jícama almacenada a 5 y 10% de CO₂.

Uno de los riesgos al modificar la atmósfera circundante de un vegetal es el de inducir la respiración anaerobia y como consecuencia producir acetaldehído y etanol. La acumulación de estos compuestos se relaciona con las alteraciones del sabor y el aroma. Mateos et al. (1993) encontraron que en piezas de lechuga, con 5 ó 10% de CO₂, no mostraron cambios significativos en la producción de

acetaldehído y etanol, pero en atmósferas con 20% de CO₂ aumentó grandemente el contenido de etanol y moderadamente el de acetaldehído.

Los niveles de acetaldehído y etanol encontrados en cilindros de jícama no se correlacionaron en forma estrecha con la producción de malos olores, esto también fue reportado por López-Gálvez et al. (1997a) quienes encontraron correlaciones bajas, pero altamente significativas, por lo cual ellos consideraron que el etanol y acetaldehído contribuyen en la presencia de malos olores, pero que también otros compuestos volátiles están involucrados en la presencia del mal olor.

La comparación de cilindros obtenidos de las jícamas procedentes de Nayarit y del Bajío mostró que estas últimas tuvieron una mayor tendencia a perder sus características de calidad más fácilmente respecto de las primeras. Sørensen (1996) observó que los cultivares que crecen en las dos áreas de mayor producción en México, Nayarit y Guanajuato, poseen varias características morfológicas y fisiológicas diferentes; las principales características morfológicas son el color y el grosor de la piel de la raíz, los cultivares de Nayarit tienen una piel más gruesa y oscura y el jugo lechoso, mientras que los cultivares de Guanajuato, son de piel delgada con oscurecimiento ligero, casi blanco y sabia acuosa translúcida. Fisiológicamente, los dos grupos de cultivares difieren en sus ciclos de desarrollo como una respuesta a los factores ambientales. Además se han encontrado diferencia en la cantidad de sólidos solubles totales, 6.9% en jícama del bajío y 4.7 % en jícama de Nayarit. Mercado-Silva et al. (1998) observaron que la variedad "Agua Dulce" de la región del Bajío fue menos tolerante al daño por frío que las raíces producidas en la costa de Nayarit. Al igual que estos autores se pueden atribuir las variaciones en la calidad del producto mínimamente procesado a las diferencias morfológicas y fisiológicas así como a las diferentes condiciones de crecimiento y selección del cultivar.

Se observó también que aún cuando la jícama intacta es sensible al daño por frío, son necesarias temperaturas bajas para mantener la calidad de cilindros de jícama, un comportamiento similar se observó en discos de pimiento (López-Gálvez et al., 1997b). Cilindros de jícama almacenados a 10°C en concentraciones altas de CO₂ no se conservan más de 4 días, mientras que con la misma concentración de CO₂ a 5°C mantienen su calidad durante 12 días lo que muestra que la temperatura es el factor más importante para los productos mínimamente procesados y el uso de atmósferas controladas es un complemento.

Al tener la posibilidad de experimentar con jícama recién cosechada y con jícama almacenada durante 15 días antes de su procesado mínimo, se observó claramente que las características de calidad de jícama recién cosechada se mantuvieron por más tiempo respecto de las jícamas almacenadas durante 15 días. Esto demuestra la importancia de realizar el procesado mínimo lo más inmediato posible, después de la cosecha, con el fin de tener una mayor vida de anaquel.

8. CONCLUSIONES

- La tasa de respiración de jícama mínimamente procesada estuvo directamente relacionada con la temperatura de almacenamiento y fue ligeramente mayor que en la raíz intacta.
- Durante 6 días de almacenamiento, a 5 ó 10 °C, la temperatura es el factor más importante para disminuir la velocidad de deterioro, independientemente de la forma geométrica de las piezas.
- Hubo una estrecha relación entre la actividad de PAL y el contenido de fenoles, con el cambio de color, tanto visual como a través de la cromaticidad. La actividad de PPO por sí sola no explicó los cambios de color encontrados.
- Aún cuando la jícama intacta es sensible al daño por frío, temperaturas de 0 y 5°C fueron necesarias para mantener la calidad de cilindros de jícama.
- Las principales causas de la pérdida de calidad fueron las pudriciones macroscópicas, el desarrollo de mal olor y la pérdida del sabor característico, se percibió una mayor susceptibilidad a la pérdida de calidad en jícama del Bajío comparada con la jícama de Nayarit o Michoacán.
- El almacenamiento en atmósferas, con 5 ó 10% de CO₂, mantuvieron más eficientemente la calidad que los tratamientos con aire ó bajas concentraciones de O₂. El almacenamiento en atmósferas con alta concentración de CO₂ pueden retardar y atenuar el oscurecimiento en el tejido de cilindros de jícama, pero el factor de control más importante fue la temperatura (5°C).
- Los niveles de acetaldehído y etanol encontrados en cilindros de jícama no se correlacionaron con la producción de malos olores.

- Las 10 variedades estudiadas mostraron pocas diferencias en su comportamiento durante el almacenamiento, tuvieron mayor efecto las condiciones de almacenamiento.

- Los 15 días de almacenamiento de la jícama intacta tuvo un efecto negativo en la calidad del producto mínimamente procesado.

LITERATURA CITADA

- Agar, I.T., Hess-Pierce, B. y Kader, A.A. 1997. Quality maintenance and physiology of fresh-cut kiwifruit slices. En Gorny, J.R. (ed). Proc. 7th Intl. Controlled Atmosphere Research Conf. University of California Davis, CA. Postharvest Hort. Series No. 10. Vol 5. p.7.
- Bergsma, K.A. y Brecht, J.K. 1992. Postharvest respiration, moisture loss, sensory analysis and compositional changes in jicama (*Pachyrhizus erosus*) roots. Acta Hort. 318: 325-332.
- Berrang, M.E., Brackett, R.E. y Beuchat, L.R. 1989. Growth of *Listeria monocytogenes* on fresh vegetables stored under a controlled atmosphere. J. Food Prot. 52: 702-705.
- Beuchat, L.R. y Brackett, R.E. 1990. Survival and growth of *Listeria monocytogenes* on lettuce as influenced by shredding, chlorine treatment, modified atmosphere packaging and temperature. J. Food. Sci. 55: 755-758.
- Brackett, R.E. 1987. Microbiological consequences of minimally processed fruits and vegetables. J. Food Qual. 10: 195-206.
- Brecht, J. 1995. Physiology of lightly processed fruits and vegetables. HortScience 30: 18-22.
- Bruton, B.D. 1983. Market and storage diseases of jicama. J. Rio Grande Valley Hort. Soc. 36: 29-34.
- Buescher, R.W. y Henderson, J. 1977. Reducing discoloration and quality deterioration in snap beans by atmospheres enriched with CO₂. Acta Hort. 62:55.
- Burns, J. 1995. Lightly processed fruits and vegetables: HortScience 30: 14.
- Burton, W.G. 1982. Post-harvest Physiology of Food Crops. Longman. London.
- Cantwell, M. 1998a. Introduction en Fresh-Cut Products: Maintaining Quality and Safety UC Davis Postharvest Hort. Series No. 10.
- Cantwell, M. 1998b. Fresh-Cut Biology and Requirements. En Fresh-Cut Products: Maintaining Quality and Safety UC Davis Postharvest Hort. Series No. 10.

- Cantwell, M., Mercado-Silva, E., Martínez, M. y García R. 1998. Problemática del manejo postcosecha de jicama (*Pachyrhizus erosus*) en la zona centro de México. En prensa.
- Cantwell, M., Orozco W., Rubatzky, V. y Hernández, L. 1992. Postharvest handling and storage of jicama roots. *Acta Hort.* 318: 333-343.
- Casanueva, E. 1995. Catzotl, raíz que mana del jugo. *Cuadernos de Nutrición* 18(1): 30-34.
- Castellanos, R., Zapata, F., Peña-Cabriales, J., Hensen, E. y Heredia-G, E. 1996. Symbiotic nitrogen fixation and yield of *Pachyrhizus erosus* (L.) Urban cultivars and *Pachyrhizus ahipa* (Wedd.) Parodi landraces as affected by flower pruning. En: Sørensen, M. (ed.). Yam bean (*Pachyrhizus* DC.). Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 2. Inst. Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/Intl. Plant Genetic Resources Inst., Rome. p. 46.
- Centro de Estadística Agropecuaria, Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. 1996.
- Cisneros-Zevallos, L., Saltveit, M.E. y Krochta, J.M. 1995. Mechanism of surface white discoloration of peeled (minimally processed) carrots during storage. *J. Food Sci.* 60:320-323.
- Creasy, L.L. 1976. Phenylalanine ammonia lyase-inactivating system in sunflower leaves. *Phytochem.* 15: 673-675.
- Creasy, L.L., Gupta, S.C., Chan, B.G. y Elliger, C.A. 1986. Phenylalanine ammonia lyase inactivating system. *Current Topics in Plant Biochem. Physiol.* 5: 165-174.
- Del Cura, B., Escribano, M., Zamorano, J. y Merodio, C. 1996. High carbon dioxide delays postharvest changes in RuBPase and polygalacturonase-related protein in cherimoya peel. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 121 (4):735-739.
- Fernández, M.V., Marid, W.A., Loaiza, J.M., Martínez, J.J. y Serrano, A. 1996. Effect of planting methods on root characters of jicama (*Pachyrhizus erosus* (L.)Urban). *Jpn. J. Trop. Agr.* 40(1): 26-28.
- Gorny, J.R. 1997. A summary of CA and MA requirements and recommendations for fresh-cut (Minimally processed) fruits and vegetables. En Gorny, J.R. (ed). *Proc. 7th Intl. Controlled Atmosphere Research Conf.* University of California Davis, CA. *Postharvest Hort. Series No. 10. Vol 5.* pp. 30-66.

- Hanson, K.R. y Havir, E.A. 1979. An introduction to the enzymology of phenylpropanoid biosynthesis, p. 91-138. En Swain, T., Harborne, J.B. y Sumere, C.F. (eds). *The Biochemistry of Plant Phenolics*. Plenum Press, New York.
- Heredia-Zepeda, A. y Heredia-García, E. 1994. San Miguelito, San Juan y Vega de San Juan nuevas variedades de jícama (*Pachyrhizus erosus*) para el Bajío, Guanajuato, México. En Sørensen, M. (ed.) *Proc. First Intl. Symposium on Tuberous Legumes Guadeloupe*, F.W. pp. 257-272.
- Hess, B., Ke, D. y Kader, A. 1993. Changes in intracellular pH, ATP, and glycolytic enzymes in "Hass" avocado in response to low O₂ and high CO₂ Stresses. En *Proc. 7th Intl. Controlled Atmosphere Research Conf. Cornell University Ithaca, New York. NRAES Vol (1) 71: 1-9.*
- Hyodo, H., Kuroda, H. y Yang, S.F. 1978. Induction of Phenylalanine-ammonia lyase and increase in phenolics in lettuce leaves in relation to the development of russet spotting caused by ethylene. *Plant Physiol.* 62: 31-35.
- Hyodo, H., Tanaka, K. y Suzuki, T. 1991. Wound-induced ethylene synthesis and its involvement in enzyme induction in mesocarp tissue of *Cucurbita maxima*. *Postharvest Biol. Tech.* 1: 127-136.
- Instituto Nacional de la Nutrición. 1992. Valor nutritivo de los alimentos de mayor consumo en México. México D.F. p. 11.
- Juárez-Goiz, J.M. 1994. Conservación de jícama por métodos combinados. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Querétaro, México.
- Juárez-Goiz, M. S. y Paredes-López, O. 1994. Studies on jicama juice processing. *Plants for Human Nutrition* 46: 127-131.
- Kader, A.A. 1986a. Modified Atmospheres during Transport and Storage. En *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. University California Publ. 3311: 85-92.
- Kader, A.A. 1986b. Postharvest biology and Technology: An Overview. En *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. University California Publ. 3311: 15-20.
- Kader, A.A. 1986c. Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables. *Food Tech.* 40: 99-100, 102-104.

- Kader, A.A., Lipton, W.J. y Morris, L.L. 1973. Systems for Scoring Quality of Harvested lettuce. *HortScience* 8: 408-410.
- Kader, A.A. y Mitcham, E. 1996. Standarization of quality. En *Fresh-Cut Products: Maintaining Quality and Safety UC Davis Postharvest Hort. Series No. 10.*
- Kader, A., Zagory, D. y Kerbel, E. 1989. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *Critical Rev. Food Sci. and Nutrition* 28: 1-32.
- Kato-Noguchi, H. y Watada, A. 1996. Regulation of glycolytic metabolism in fresh-cut carrots under low oxygen atmosphere. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 121: 123-126.
- Kays, S.J. 1991. *Postharvest Physiology of Perishables Plants Products.* Van Nostrand Reinhold. N.Y. pp. 76-93.
- Ke, D. y Saltveit, M.E. 1986. Effects of calcium and auxin on russet spotting an ammonia-lyase activity in Icebeg lettuce. *HortScience* 21: 1169-1171.
- Ke, D. y Saltveit, M.E. 1989. Wound-induced ethylene production, phenolic metabolism, and susceptibility to russet spotting in Icerbeg lettuce. *Physiol. Plant.* 76: 412-418.
- Kennedy, R., Rumpho, M., y Fox, T. 1992. Anaerobic metabolism in plants. *Plant Physiol.* 100: 1-6.
- Kolattukudy, P.E. 1984. 1984. Biochemistry and function of cutin and suberin. *Can. J. Bot.* 62: 2918-933.
- Lagrimini, L.M., Vaughn, J., Erb, W. A. y Miller, S.A. 1993. Peroxidase overproduction in tomato: wound-induced polyphenol deposition and disease resistance. *HortScience* 28(3): 218-221.
- Lattancio, V., Cardinali, A., Di Venere, D., Linsalata, V. y Palmieri, S. 1994. Browning phenomena in stored artichoke (*Cynara scolymus* L.) heads: enzymic or chemical reactions?. *Food Chem.* 38: 1-7.
- Lattancio, V., Linsalata, V., Palmieri, S. y Van Sumere, C.F. 1989. The beneficial effect of citric and ascorbic acid on the phenolic browning reaction in stored artichoke (*Cynara scolymus* L.) heads. *Food Chem.* 33: 93-106.
- Lipton W. 1980. Interpretation of quality evaluations of horticultural crops. *HortScience* 15(1):64-67.

- López-Galvéz, G., Peiser, G., Nie, X. y Cantwell, M. 1997a. Quality changes in packaged salad products during storage. *Z. Lebensm. Unters. Forsch A.* 205: 64-72.
- López-Galvéz, G., El-Bassouni, R., Nie, X. y Cantwell, M. 1997b. Quality of red and green fresh-cut peppers stored in controlled atmospheres. En Gorny, J.R. (ed). *Proc. 7th Intl. Controlled Atmosphere Research Conf.* University of California Davis, CA. *Postharvest Hort. Series No. 10. Vol 5.* pp. 152-157.
- López-Galvéz, G., Saltveit, M. y Cantwell, M. 1996. Wound-induced phenylalanine ammonia lyase activity: factors affecting its induction and correlation with the quality of minimally processed lettuces. *Postharvest Biol. Tech.* 9: 223-233.
- Lynd, J.Q. y Purcino, A.A. 1987. Effects of soil fertility on growth, tuber yield, nodulation and nitrogen fixation of yam bean (*Pachyrhizus erosus* (L) Urban) grown on a typic eustrustox. *J. Plant Nut.* 10: 485-500.
- Madrid, M. y Cantwell, M. 1993. Use of high CO₂ atmospheres to maintain quality of intact and fresh-cut melon. *Proc. Sixth Intl. Controlled Atmosphere Reseach Conf.* vol 2, pp 736-745.
- Mateos, M., Ke, D., Cantwell, M. y Kader, A. 1993. Phenolic metabolism and ethanolic fermentation of intact and cut lettuce exposed to CO₂ enriched atmospheres. *Postharvest Biol. Tech.* 3: 225-233.
- McGuire, R. G. 1992. Reporting of objective color measurements. *HortScience* 27: 1254-1260.
- Mélo, E., Krieger, N. y Montenegro-Stamford, T.L. 1994. Physicochemical Properties of Jacatupé (*Pachyrhizus erosus* (L) Urban) Starch. *Starch* 46: 245-247.
- Mercado-Silva, E. y Cantwell, M. 1998. Quality Changes in Jicama roots stored at chilling and nonchilling temperatures. *J. Food Quality* 21: 211-221.
- Mercado-Silva, E., García, R., Heredia-Zepeda, A. y Cantwell, M. 1998. Development of chilling injury in five jicama cultivars. *Postharvest Biol. Tech.* 13: 37-43.
- Miller, A.R. 1992. Physiology, biochemistry and detection of bruising (mechanical stress) in fruits and vegetables. *Postharv. News & Info.* 3: 53-58.

- Minolta Corporation Manual. 1994. Precise Color Communication. Pp. 10-11. Minolta Corporation Instrument System Division, Ramsey, NJ.
- Murr, D.P. y Morris, L.L. 1974. Influence of O₂ and CO₂ on o-diphenol oxidase activity in mushrooms. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 99: 155-158.
- O'Beirne, O. y Ballantyne, A. 1987. Some effects of modified-atmosphere packaging and vacuum packaging in combination with antioxidants on quality and storage life of chilled potato strips. *Intl. J. Food Sci. Tech.* 22: 515-523.
- Paul, R. E. y Chen, N.J. 1988. Compositional changes in Yam Bean during storage. *HortScience* 23:194-196
- Portela S., Nie, X., Suslow, T. y Cantwell, M. 1997. Changes in sensory quality and fermentative volatile concentration of minimally processed cantaloupe stored in controlled atmospheres. En Gorny, J.R. (ed). *Proc. 7th Intl. Controlled Atmosphere Research Conf. University of California Davis, CA. Postharvest Hort. Series No. 10. Vol 5. pp. 123-129.*
- Qi, L. y Watada, A.E. 1997. Quality changes of fresh-cut fruits in CA storage. En Gorny, J.R. (ed). *Proc. 7th Intl. Controlled Atmosphere Research Conf. University of California Davis, CA. Postharvest Hort. Series No. 10. Vol 5. pp. 116-121.*
- Ritenour, M.A., Ahrens, M.J. y salveit, M.E. 1995. Effects of temperature on ethylene-induced phenylalanine ammonia lyase activity and russet spotting in harvested iceberg lettuce. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 120 : 84-87.
- Rolle, R.S. y Chism, G.W. 1987. Physiological consequences of minimally processed fruits and vegetables. *J. Food Quality* 10: 57-117.
- Rosen, J.C. y Kader, A.A. 1989. Postharvest physiology and quality maintenance of sliced pear and strawberry fruits. *J. Food Sci.* 54: 656-659.
- Rubatzky, V. y Yamaguchi, M. 1997. *World Vegetables: Principles, Production, and Nutritive Values.* Chapman & Hall. 2^a ed. USA.
- Saltveit, M. 1998. Fresh-cut product biology. En *Fresh-Cut Products: Maintaining Quality and Safety UC Davis Postharvest Hort. Series No. 10.*

- Saltveit, M.E., y Strike, T. 1989. A rapid method for accurately measuring oxygen concentrations in milliliter gas samples. *HortScience* 24(1): 145-147.
- Schlimme, D. 1995. Marketing lightly processed fruits and vegetables. *HortScience* 30: 15-17.
- Siriphanich, J. y Kader, A. 1985. Effects of CO₂ on total phenolics, phenylalanine ammonia lyase, and polyphenol oxidase in lettuce tissue. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 110 : 249-253.
- Solomos, T. 1997. Principios físicos y biológicos de envasado en atmósferas modificadas en Wiley, R. (ed.). *Frutas y Hortalizas mínimamente procesadas y refrigeradas*. Acribia. España.
- Sørensen, M. 1996. Yam bean (*Pachyrhizus* DC.). Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 2. Inst. Plant Genetics and Crop Plant Research, 140 pp. Gatersleben/Intl. Plant Genetic Resources Inst., Rome.
- Strack, D. 1996. Phenolic Metabolism. En *Plant Biochemistry*, ed. por Dey, P.M. y Harborne, J.B. Academic Press, Great Britain. pp. 387-416.
- Sukumaran, N.P., Jassal, J.S. y Verma, S.C. 1990. Quantitative determination of suberin deposition during wound healing in potatoes (*Solanum tuberosum* L). *J. Sci. Food Agric.* 51: 271-274.
- Thompson, J.F. 1992. Psychrometrics and perishable commodities. *Postharvest Technology of Horticultural Crops*, University California Publ. 3311. Pp. 79-84.
- United States Department of Agriculture. 1993. Fresh-cut Produce. Shipping Point and Market Inspections Instructions for Fresh-Cut Produce. Washington, D.C. General Inspections Instructions.
- Varoquaux, P., Lecendre, I., Varoquaux, F. y Souty, M. 1990. Change in firmness of kiwi fruit after slicing. *Sci. Alim.* 10: 127-139.
- Varoquaux, P. y Varoquaux, F. 1990. Les fruit de 4eme gamme. Wiley, R. (ed.). 1997. *Frutas y Hortalizas mínimamente procesadas y refrigeradas*. Acribia. España.
- Walter, W.M., Randall-Shadel, B. y Shadel, W.E. 1990. Wound healing in cucumber fruit. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 115(3): 444-452.
- Watada, A.E., Abe, K. y Yamaguchi, N. 1990. Physiological activities of partially processed fruits and vegetables. *Food Tech.* 44(5): 116-122.

Watada, A., Ko, N. y Minott, D. 1996. Factors affecting quality of fresh-cut horticultural products. *Postharvest Biol. Tech.* 9: 115-125.

Whitaker, J. R. 1994. *Principles of Enzymology for the Food Science.* Marcel Dekker, Inc. New York. pp. 565-577.

APÉNDICE

APENDICE A.

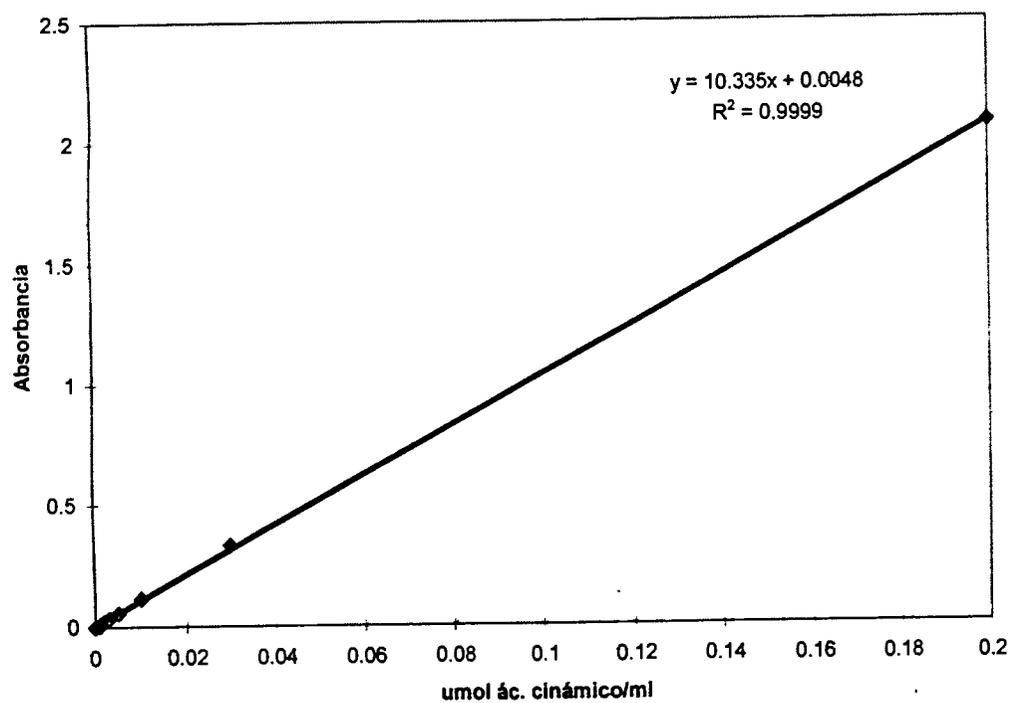


Figura A1. Curva de calibração para determinar la actividad de PAL.

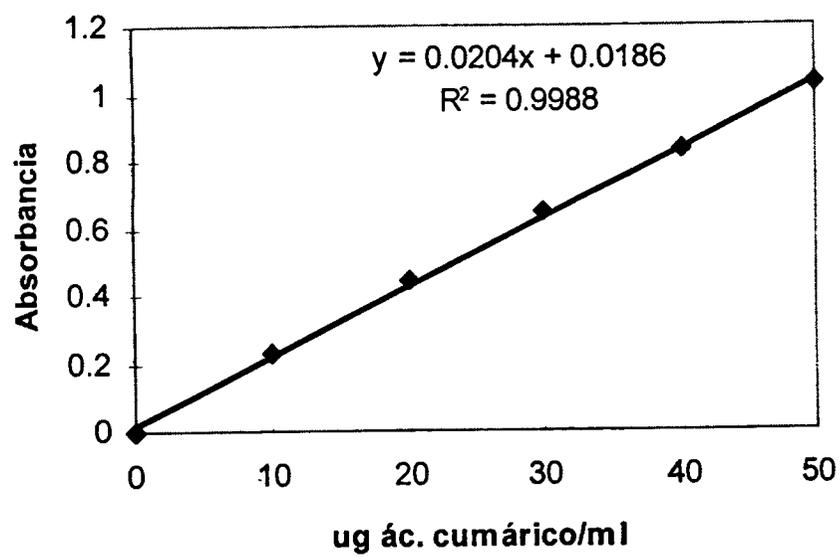


Figura A2. Curva estándar para determinar la concentración de fenoles totales.

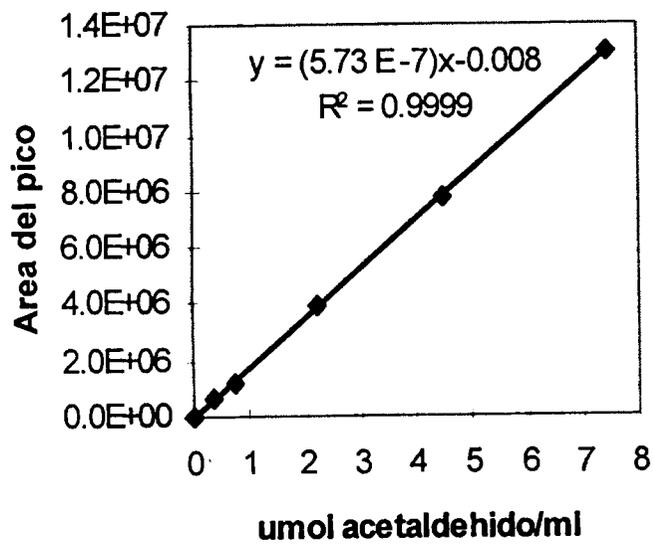


Figura A3. Curva estándar para determinar la concentración de acetaldhido.

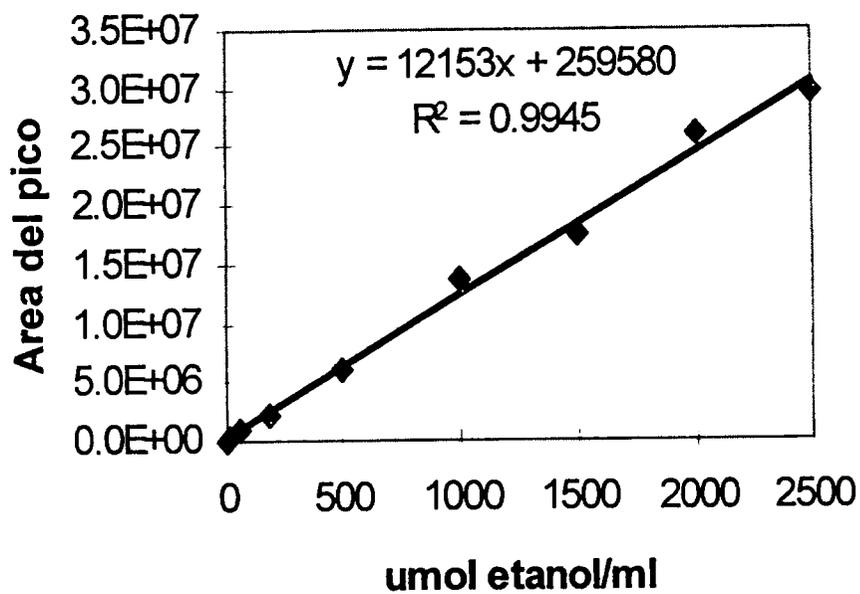


Figura A4. Curva de calibración para calcular la concentración de etanol.

PENDICE B.

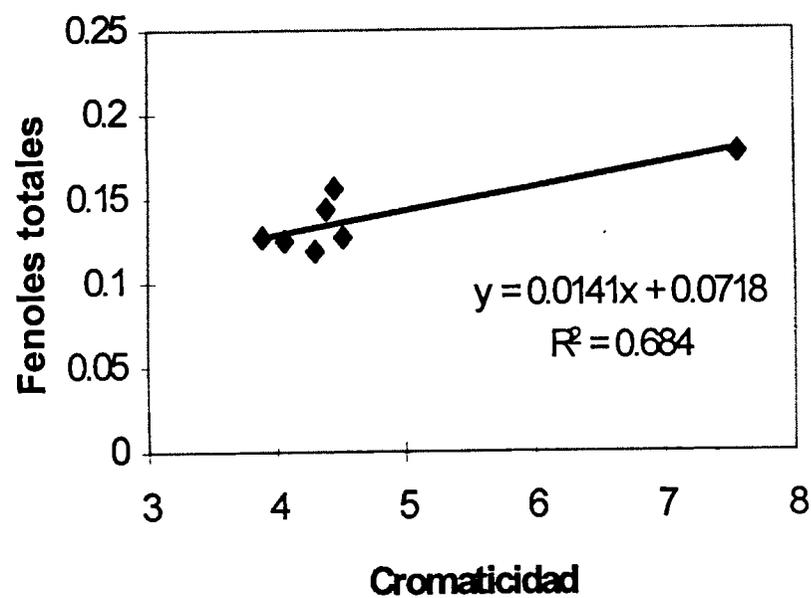


Figura B1. Correlación de cromaticidad y contenido de fenoles totales en discos de jícama almacenados a 5°C.

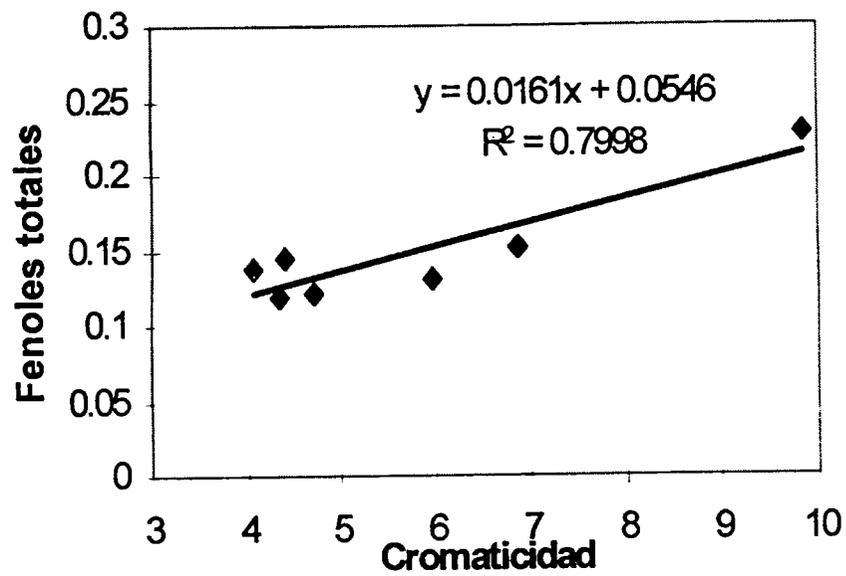


Figura B2. Correlación de cromaticidad y contenido de fenoles totales en discos de jícama almacenados a 7.5°C.

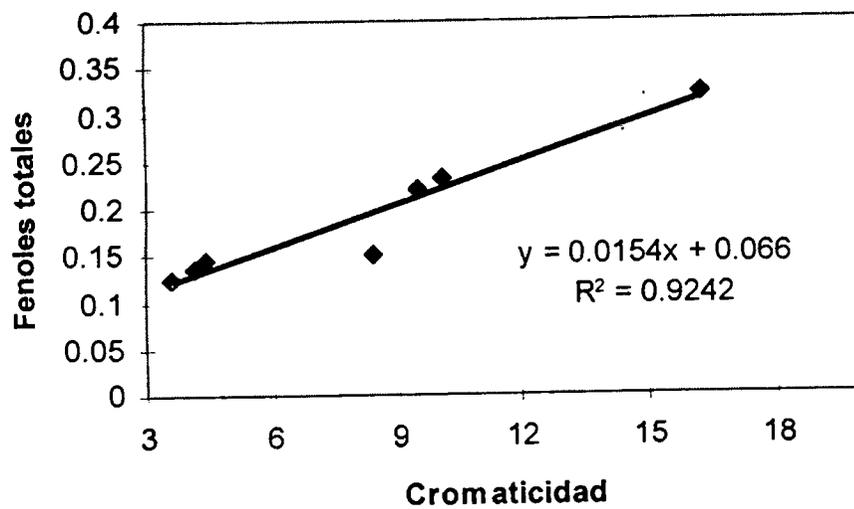


Figura B3. Correlación de cromaticidad y contenido de fenoles totales en discos de jícama almacenados a 10°C.

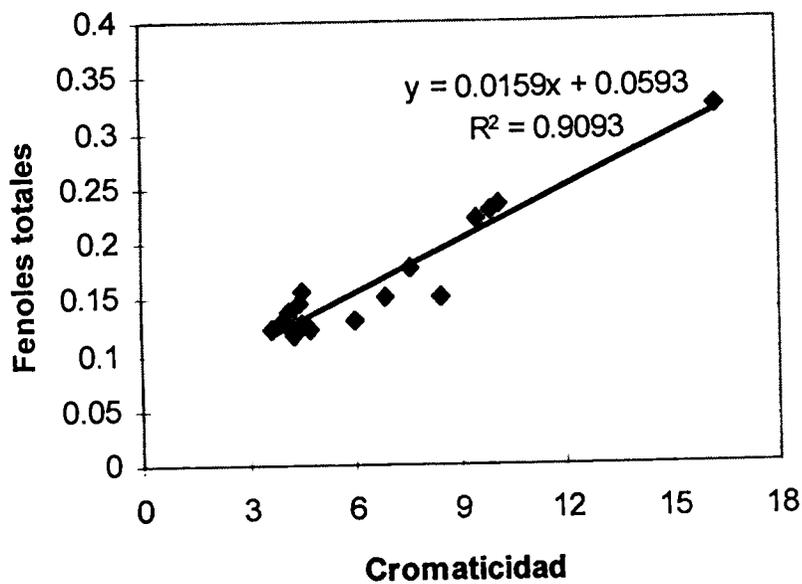


Figura B4. Correlación de cromaticidad y contenido de fenoles totales en discos de jícama almacenados a 5, 7.5 y 10°C.

APENDICE C.

Cuadro C1. Calidad visual en cilindros de diferentes variedades de jícama y almacenados en diferentes condiciones.

| Variedad | Tiempo 1 | | | |
|--|------------------|-------------------|-------------------|----------------------------|
| | Aire | | | Aire + 10% CO ₂ |
| | 0°C | 5°C | 10°C | 5°C |
| 1. <i>P. erosus</i> , var. Agua Dulce | 8.0 ^a | 4.8 ^a | 3.3 ^{ab} | 5.1 ^{ab} |
| 2. <i>P. erosus</i> , var. Cristalina | 8.5 ^a | 4.8 ^a | 4.1 ^b | 5.2 ^{ab} |
| 3. <i>P. erosus</i> , var. Vega de San Juan | 8.5 ^a | 5.0 ^a | 4.3 ^b | 5.7 ^b |
| 4. <i>P. erosus</i> silvestre (#49,EW229) | 8.3 ^a | 4.5 ^a | 3.2 ^a | 4.5 ^a |
| 5. <i>P. erosus</i> cultivar (#38,117-49) | 8.0 ^a | 5.3 ^{ab} | 3.9 ^{ab} | 5.4 ^b |
| 6. <i>P. ahipa</i> x <i>P. erosus</i> (#338) | 8.2 ^a | 5.9 ^b | 4.7 ^b | 5.8 ^b |
| 7. <i>P. ahipa</i> x <i>P. erosus</i> (#378) | - | - | 3.7 ^{ab} | - |
| 8. <i>P. ahipa</i> x <i>P. erosus</i> (#338) | - | - | 4.0 ^b | - |
| 9. <i>P. ahipa</i> (#19AC) | - | - | 3.6 ^{ab} | 6.8 ^c |
| 10. <i>P. ahipa</i> (#10AC) | - | - | - | 7.2 ^c |
| | Tiempo 2 | | | |
| 1. <i>P. erosus</i> , var. Agua Dulce | 7.0 ^a | 2.0 ^a | 2.2 ^a | 3.0 ^b |
| 2. <i>P. erosus</i> , var. Cristalina | 7.0 ^a | 2.0 ^a | 2.0 ^a | 3.0 ^b |
| 3. <i>P. erosus</i> , var. Vega de San Juan | 7.0 ^a | 2.0 ^a | 2.0 ^a | 2.0 ^a |
| 4. <i>P. erosus</i> silvestre (#49,EW229) | 7.0 ^a | 2.0 ^a | 1.4 ^a | 2.0 ^a |
| 5. <i>P. erosus</i> cultivar (#38,117-49) | 7.0 ^a | 2.0 ^a | 2.0 ^a | 2.0 ^a |
| 6. <i>P. ahipa</i> x <i>P. erosus</i> (#338) | 7.0 ^a | 2.4 ^a | 2.0 ^a | 2.0 ^a |
| 7. <i>P. ahipa</i> x <i>P. erosus</i> (#378) | - | - | - | - |
| 8. <i>P. ahipa</i> x <i>P. erosus</i> (#338) | - | - | - | - |
| 9. <i>P. ahipa</i> (#19AC) | - | - | - | 3.0 ^b |
| 10. <i>P. ahipa</i> (#10AC) | - | - | - | 3.0 ^b |

Diferentes letras en la misma columna representan diferencias estadísticamente significativas (Tukey <0.05), para cada tiempo.

A 5°C, tiempo 1 = 8 d y tiempo 2= 12 d.

A 10°C, tiempo 1 = 4 d y tiempo 2= 8 d.

Cuadro C2. Oscurecimiento en cilindros de diferentes variedades de jícama y almacenados en diferentes condiciones

| Variedad | Tiempo 1 | | | |
|--|------------------|-------------------|-------------------|----------------------------|
| | Aire | | | Aire + 10% CO ₂ |
| | 0°C | 5°C | 10°C | 5°C |
| 1. <i>P. erosus</i> , var. Agua Dulce | 1.0 ^a | 1.8 ^a | 3.1 ^b | 1.3 ^a |
| 2. <i>P. erosus</i> , var. Cristalina | 1.0 ^a | 1.9 ^a | 2.4 ^{ab} | 1.4 ^a |
| 3. <i>P. erosus</i> , var. Vega de San Juan | 1.0 ^a | 1.3 ^a | 2.9 ^b | 1.2 ^a |
| 4. <i>P. erosus</i> silvestre (#49,EW229) | 1.0 ^a | 2.2 ^b | 3.3 ^b | 1.9 ^a |
| 5. <i>P. erosus</i> cultivar (#38,117-49) | 1.0 ^a | 1.3 ^{ab} | 2.8 ^b | 1.4 ^a |
| 6. <i>P. ahipa</i> x <i>P. erosus</i> (#338) | 1.0 ^a | 1.3 ^a | 2.3 ^{ab} | 1.6 ^a |
| 7. <i>P. ahipa</i> x <i>P. erosus</i> (#378) | - | - | 1.4 ^{ab} | - |
| 8. <i>P. ahipa</i> x <i>P. erosus</i> (#338) | - | - | 1.1 ^a | - |
| 9. <i>P. ahipa</i> (#19AC) | - | - | 1.9 ^a | 1.0 ^a |
| 10. <i>P. ahipa</i> (#10AC) | - | - | - | 1.0 ^a |
| | Tiempo 2 | | | |
| 1. <i>P. erosus</i> , var. Agua Dulce | 1.0 ^a | 1.9 ^a | 4.0 ^a | 1.0 ^a |
| 2. <i>P. erosus</i> , var. Cristalina | 1.0 ^a | 1.4 ^a | 4.4 ^b | 1.0 ^a |
| 3. <i>P. erosus</i> , var. Vega de San Juan | 1.0 ^a | 1.3 ^a | 3.2 ^a | 1.1 ^a |
| 4. <i>P. erosus</i> silvestre (#49,EW229) | 1.4 ^a | 2.9 ^b | 4.4 ^a | 1.9 ^a |
| 5. <i>P. erosus</i> cultivar (#38,117-49) | 1.0 ^a | 1.3 ^a | 3.6 ^a | 1.4 ^a |
| 6. <i>P. ahipa</i> x <i>P. erosus</i> (#338) | 1.0 ^a | 1.3 ^a | 3.9 ^{ab} | 1.3 ^a |
| 7. <i>P. ahipa</i> x <i>P. erosus</i> (#378) | - | - | - | - |
| 8. <i>P. ahipa</i> x <i>P. erosus</i> (#338) | - | - | - | - |
| 9. <i>P. ahipa</i> (#19AC) | - | - | - | 1.0 ^a |
| 10. <i>P. ahipa</i> (#10AC) | - | - | - | 1.0 ^a |

Diferentes letras en la misma columna representan diferencias estadísticamente significativas para un parámetro (Tukey <0.05), para cada tiempo.

A 5°C, tiempo 1 = 8 d y tiempo 2 = 12 d.

A 10°C, tiempo 1 = 4 d y tiempo 2 = 8 d.

Cuadro C3. Pudrición macroscópica en cilindros de diferentes variedades de jícama almacenados en diferentes condiciones.

| Variedad | Tiempo 1 | | | |
|--|------------------|-------------------------------|--------------------|----------------------------|
| | Aire | | | Aire + 10% CO ₂ |
| | 0°C | 5°C | 10°C | 5°C |
| 1. <i>P. erosus</i> , var. Agua Dulce | 1.0 ^a | 3.0 ^b ^a | 1.3 ^a | 2.6 ^b |
| 2. <i>P. erosus</i> , var. Cristalina | 1.0 ^a | 2.9 ^{ab} | 1.3 ^a | 2.4 ^b |
| 3. <i>P. erosus</i> , var. Vega de San Juan | 1.0 ^a | 3.0 ^b | 1.2 ^a | 1.9 ^{ab} |
| 4. <i>P. erosus</i> silvestre (#49,EW229) | 1.0 ^a | 3.0 ^b | 1.1 ^a | 2.7 ^b |
| 5. <i>P. erosus</i> cultivar (#38,117-49) | 1.0 ^a | 2.2 ^{ab} | 1.0 ^a | 2.3 ^{ab} |
| 6. <i>P. ahipa</i> x <i>P. erosus</i> (#338) | 1.0 ^a | 1.9 ^a | 1.0 ^a | 1.7 ^a |
| 7. <i>P. ahipa</i> x <i>P. erosus</i> (#378) | - | - | 4.0 ^b | - |
| 8. <i>P. ahipa</i> x <i>P. erosus</i> (#338) | - | - | 4.0 ^a | - |
| 9. <i>P. ahipa</i> (#19AC) | - | - | 3.9 ^b | 1.6 ^a |
| 10. <i>P. ahipa</i> (#10AC) | - | - | - | 1.0 ^a |
| | Tiempo 2 | | | |
| 1. <i>P. erosus</i> , var. Agua Dulce | 3.0 ^a | 5.0 ^a | 3.6 ^{bc} | 5.0 ^a |
| 2. <i>P. erosus</i> , var. Cristalina | 3.0 ^a | 5.0 ^a | 2.9 ^{abc} | 4.3 ^b |
| 3. <i>P. erosus</i> , var. Vega de San Juan | 3.0 ^a | 5.0 ^a | 5.0 ^d | 5.0 ^a |
| 4. <i>P. erosus</i> silvestre (#49,EW229) | 3.0 ^a | 5.0 ^a | 3.2 ^{abc} | 5.0 ^a |
| 5. <i>P. erosus</i> cultivar (#38,117-49) | 3.0 ^a | 5.0 ^a | 3.6 ^{bc} | 5.0 ^a |
| 6. <i>P. ahipa</i> x <i>P. erosus</i> (#338) | 3.0 ^a | 5.0 ^a | 2.6 ^a | 5.0 ^a |
| 7. <i>P. ahipa</i> x <i>P. erosus</i> (#378) | - | - | - | - |
| 8. <i>P. ahipa</i> x <i>P. erosus</i> (#338) | - | - | - | - |
| 9. <i>P. ahipa</i> (#19AC) | - | - | - | 5.0 ^a |
| 10. <i>P. ahipa</i> (#10AC) | - | - | - | 5.0 ^a |

Diferentes letras en la misma columna representan diferencias estadísticamente significativas para un parámetro (Tukey <0.05), para cada tiempo.

A 5°C, tiempo 1 = 8 d y tiempo 2 = 12 d.

A 10°C, tiempo 1 = 4 d y tiempo 2 = 8 d.

Cuadro C4. Distancia al punto de penetración (mm) en cilindros de diferentes variedades de jícama y almacenados en diferentes condiciones.

| Variedad | Tiempo 1 | | | |
|--|-------------------|--------------------|-------------------|----------------------------|
| | Aire | | | Aire + 10% CO ₂ |
| | 0°C | 5°C | 10°C | 5°C |
| 1. <i>P. erosus</i> , var. Agua Dulce | 2.47 ^a | 1.93 ^{ab} | 2.17 ^a | 1.79 ^a |
| 2. <i>P. erosus</i> , var. Cristalina | 2.23 ^a | 2.75 ^b | 1.83 ^a | 1.44 ^a |
| 3. <i>P. erosus</i> , var. Vega de San Juan | 2.19 ^a | 2.11 ^{ab} | 2.05 ^a | 1.83 ^a |
| 4. <i>P. erosus</i> silvestre (#49,EW229) | 2.47 ^a | 2.23 ^{ab} | 2.13 ^a | 1.81 ^a |
| 5. <i>P. erosus</i> cultivar (#38,117-49) | 1.97 ^a | 1.92 ^{ab} | 2.16 ^a | 1.58 ^a |
| 6. <i>P. ahipa</i> x <i>P. erosus</i> (#338) | 2.07 ^a | 1.67 ^a | 1.86 ^a | 1.60 ^a |
| | Tiempo 2 | | | |
| 1. <i>P. erosus</i> , var. Agua Dulce | 2.61 ^a | - | 2.43 ^a | - |
| 2. <i>P. erosus</i> , var. Cristalina | 2.67 ^a | - | 2.08 ^a | - |
| 3. <i>P. erosus</i> , var. Vega de San Juan | 3.42 ^a | - | 2.45 ^a | - |
| 4. <i>P. erosus</i> silvestre (#49,EW229) | 3.36 ^a | - | 2.13 ^a | - |
| 5. <i>P. erosus</i> cultivar (#38,117-49) | 2.83 ^a | - | 2.65 ^a | - |
| 6. <i>P. ahipa</i> x <i>P. erosus</i> (#338) | 2.82 ^a | - | 2.29 ^a | - |

Diferentes letras en la misma columna representan diferencias estadísticamente significativas para un parámetro (Tukey <0.05), para cada tiempo.

A 5°C, tiempo 1 = 8 d y tiempo 2 = 12 d.

A 10°C, tiempo 1 = 4 d y tiempo 2 = 8 d.

Cuadro C5. Cromaticidad en cilindros de diferentes variedades de jícama almacenados en diferentes condiciones.

| Variedad | Tiempo 1 | | | |
|--|-------------------|--------------------|---------------------|----------------------------|
| | Aire | | | Aire + 10% CO ₂ |
| | 0°C | 5°C | 10°C | 5°C |
| 1. <i>P. erosus</i> , var. Agua Dulce | 4.29 ^a | 6.71 ^{ab} | 2.17 ^a | 6.21 ^a |
| 2. <i>P. erosus</i> , var. Cristalina | 4.01 ^a | 7.10 ^{ab} | 1.83 ^a | 5.19 ^a |
| 3. <i>P. erosus</i> , var. Vega de San Juan | 3.73 ^a | 5.82 ^a | 2.05 ^a | 5.87 ^a |
| 4. <i>P. erosus</i> silvestre (#49,EW229) | 4.76 ^a | 8.61 ^b | 2.13 ^a | 7.48 ^b |
| 5. <i>P. erosus</i> cultivar (#38,117-49) | 3.32 ^a | 5.10 ^a | 2.16 ^a | 5.37 ^a |
| 6. <i>P. ahipa</i> x <i>P. erosus</i> (#338) | 3.63 ^a | 5.10 ^a | 1.86 ^a | 4.63 ^a |
| | Tiempo 2 | | | |
| 1. <i>P. erosus</i> , var. Agua Dulce | 4.80 ^a | - | 12.75 ^a | - |
| 2. <i>P. erosus</i> , var. Cristalina | 4.29 ^a | - | 12.41 ^{ab} | - |
| 3. <i>P. erosus</i> , var. Vega de San Juan | 3.99 ^a | - | 12.41 ^{ab} | - |
| 4. <i>P. erosus</i> silvestre (#49,EW229) | 5.02 ^a | - | 13.87 ^b | - |
| 5. <i>P. erosus</i> cultivar (#38,117-49) | 3.57 ^a | - | 9.83 ^a | - |
| 6. <i>P. ahipa</i> x <i>P. erosus</i> (#338) | 3.50 ^a | - | 12.48 ^a | - |

Diferentes letras en la misma columna representan diferencias estadísticamente significativas para un parámetro (Tukey <0.05), para cada tiempo.

A 5°C, tiempo 1 = 8 d y tiempo 2 = 12 d.

A 10°C, tiempo 1 = 4 d y tiempo 2 = 8 d.

Cuadro C6. Angulo de matiz en cilindros de diferentes variedades de jícama almacenados en diferentes condiciones.

| Variedad | Tiempo 1 | | | |
|--|---------------------|---------------------|--------------------|----------------------------|
| | Aire | | | Aire + 10% CO ₂ |
| | 0°C | 5°C | 10°C | 5°C |
| 1. <i>P. erosus</i> , var. Agua Dulce | 97.2 ^a | 98.19 ^a | 83.27 ^a | 98.24 ^a |
| 2. <i>P. erosus</i> , var. Cristalina | 97.91 ^a | 98.74 ^a | 85.10 ^a | 98.04 ^a |
| 3. <i>P. erosus</i> , var. Vega de San Juan | 99.16 ^a | 98.72 ^a | 85.30 ^a | 98.82 ^a |
| 4. <i>P. erosus</i> silvestre (#49,EW229) | 100.61 ^a | 98.00 ^a | 85.44 ^a | 99.21 ^a |
| 5. <i>P. erosus</i> cultivar (#38,117-49) | 98.25 ^a | 97.47 ^a | 86.23 ^a | 97.43 ^a |
| 6. <i>P. ahipa</i> x <i>P. erosus</i> (#338) | 100.97 ^a | 100.97 ^a | 90.15 ^a | 100.14 ^a |
| | Tiempo 2 | | | |
| 1. <i>P. erosus</i> , var. Agua Dulce | 100.33 ^a | - | 79.88 ^a | - |
| 2. <i>P. erosus</i> , var. Cristalina | 101.54 ^a | - | 77.29 ^a | - |
| 3. <i>P. erosus</i> , var. Vega de San Juan | 100.92 ^a | - | 84.79 ^b | - |
| 4. <i>P. erosus</i> silvestre (#49,EW229) | 99.81 ^a | - | 78.43 ^a | - |
| 5. <i>P. erosus</i> cultivar (#38,117-49) | 99.94 ^a | - | 80.28 ^a | - |
| 6. <i>P. ahipa</i> x <i>P. erosus</i> (#338) | 102.62 ^a | - | 77.66 ^a | - |

Diferentes letras en la misma columna representan diferencias estadísticamente significativas para un parámetro (Tukey <0.05), para cada tiempo.

A 5°C, tiempo 1 = 8 d y tiempo 2 = 12 d.

A 10°C, tiempo 1 = 4 d y tiempo 2 = 8 d.