



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES

LICENCIATURA EN NUTRICION

**EFECTO DE LA TEMPERATURA, RELACION AREA
VOLUMEN Y TRATAMIENTOS TERMICOS SOBRE LA
CALIDAD DE LA JICAMA MINIMAMENTE PROCESADA**

PRESENTA:

LUIS AMADOR VARGAS

SANTIAGO DE QUERÉTARO, QRO. JUNIO DE 1999.

No. Adq. 459852

No. Título _____

Clas. 664.028

A481e

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE QUERETARO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES
LICENCIATURA EN NUTRICION**

**EFECTO DE LA TEMPERATURA, RELACION AREA VOLUMEN Y
TRATAMIENTOS TERMICOS SOBRE LA CALIDAD DE LA JICAMA
MINIMAMENTE PROCESADA**

TESIS

**QUE COMO PARTE DE LOS REQUISITOS PARA OBTENER EL GRADO DE
LICENCIADO EN NUTRICION**

PRESENTA:

LUIS AMADOR VARGAS

DIRIGIDO POR

DR. EDMUNDO MERCADO SILVA

DR. EDMUNDO MERCADO SILVA _____

PRESIDENTE **FIRMA**

M. en C. JUANA ISELA ROJAS MOLINA _____

SINODAL **FIRMA**

Lic. en Nut. LAURA REGINA OJEDA NAVARRO _____

SINODAL **FIRMA**

Lic. en Nut. MARCELA ROMERO ZEPEDA _____

SINODAL **FIRMA**

**CENTRO UNIVERSITARIO
QUERETARO, QRO. JUNIO DE 1999.
MÉXICO**

EL PRESENTE TRABAJO SE DESARROLLÓ EN EL LABORATORIO DE FISIOLÓGIA Y BIOQUÍMICA POSCOSECHA DE FRUTAS Y HORTALIZAS DEL DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO DE ALIMENTOS, DE LA FACULTAD DE QUÍMICA EN LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO, BAJO LA DIRECCIÓN DEL DR. EDMUNDO MERCADO SILVA.

DEDICATORIAS

A mis padres LUIS y ARISTEA por brindarme su amor, apoyo y comprensión en todo momento. Gracias por su ejemplo. A mis hermanos Carla, Mary y Joel. A mis cuñados Zoraida, Jesús y Gabriel.

De manera muy especial al Dr. Edmundo Mercado Silva, por su importante labor en la dirección en este trabajo.

Al Departamento de Investigación y Posgrado de Alimentos de la Facultad de Química por el apoyo institucional recibido.

Al comité de Evaluación que fungieron como sinodales en esta tesis M. en C. Juana Isela Rojas Molina, Lic. en Nut. Laura Regina Ojeda Navarro, Lic. en Nut. Marcela Romero Zepeda y de forma muy especial a la M. en C. Elia Nora Aquino Bolaños.

A mis Compañeros de Laboratorio Laura Conejo, Laura Regalado, Oswaldo, Ruben, Angélica, Esther, Javier y a Gloria también.

A Mary Chuy con cariño.

A mis tíos Guillermo y Reyna y a mis primos.

A mis compañeros de generación.

De manera muy especial a Lilia.

A la familia Caracheo Saavedra por brindarme su amistad.

Al Mtro. Jaime Angeles Angeles y a Claudia.

INDICE GENERAL

	Pág.
Indice de cuadros	i
Indice de figuras	ii
1. RESUMEN	1
2. INTRODUCCIÓN	2
3. JUSTIFICACIÓN	6
4. REVISIÓN DE LITERATURA	8
4.1. Descripción botánica	8
4.2. Composición nutrimental	9
4.2.1. Calidad de la proteína de la jícama	12
4.2.2. Importancia del almidón en los vegetales	13
4.2.3. Contenido de azúcares en vegetales	15
4.2.4. Hidratos de carbono	16
4.2.5. Clasificación de los hidratos de carbono	17
4.2.6. Importancia de los azúcares	18
4.2.7. Fibra dietaria	19
4.2.8. Importancia nutrimental de los fenoles	22
4.2.9. Propiedades antinutrimientales de los fenoles	24
4.3. Importancia de la jícama	26
4.4. Usos	27
4.5. Productos mínimamente procesados	29
4.5.1. Calidad de los productos mínimamente procesados	30
4.5.2. Efectos físicos y fisiológicos importantes del procesado mínimo	31
4.5.2.1. Efectos físicos del daño mecánico	31
4.5.2.2. Efectos fisiológicos del daño mecánico	31

4.5.2.3. Oscurecimiento oxidativo	32
4.5.2.4. Cicatrización de heridas	32
4.5.3. Efecto de la baja temperatura	33
4.5.3.1. Reducción de la velocidad metabólica	34
4.5.3.2. Prevención o reducción del desarrollo de la flora microbiana	34
4.5.3.3. Disminución de la pérdida de agua	34
4.6. Compuestos fenólicos	35
4.6.1. Papel biológico de los compuestos fenólicos	35
4.7. Tratamientos térmicos	38
4.8. Estudios poscosecha realizados con jícama como raíz intacta	39
5.0. HIPÓTESIS	42
6.0. OBJETIVOS	42
6.1. OBJETIVO GENERAL	42
6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	42
7.0. MATERIALES Y MÉTODOS	43
7.1. Origen de las muestras	43
7.2. Preparación de jícama mínimamente procesada	43
7.3. Efecto de la temperatura y la relación área/volumen sobre la calidad de la jícama mínimamente procesada	44
7.4. Estudio del efecto por tratamiento térmico sobre la reducción de oscurecimiento de la jícama mínimamente procesada	44
7.5. Métodos de análisis	47
7.5.1. Evaluación de la calidad general	47
7.5.1.1. Calidad visual	47
7.5.1.2. Oscurecimiento	47
7.5.1.3. Deshidratación de la superficie	47
7.5.1.4. Pudrición macroscópica	48
7.5.1.5. Sabor	48

7.5.2. Color	48
7.5.3. Firmeza	49
7.5.4. Determinación de azúcares en jícama mínimamente procesada	49
7.5.4.1. Preparación de reactivos	49
7.5.4.2. Extracción y cuantificación de azúcares en las muestras	49
7.5.4.3. Curva de calibración	50
7.5.5. Determinación de fenoles en jícama mínimamente procesada	50
7.5.5.1. Preparación de reactivos	50
7.5.5.2. Extracción y cuantificación de fenoles en las muestras	51
7.5.5.3. Curva estándar	51
7.5.6. Métodos estadísticos	52
8.0. RESULTADOS	53
8.1. Efecto de la temperatura y relación área/volumen sobre la calidad de jícama mínimamente procesada	53
8.1.1. Cambios en la calidad visual	53
8.1.2. Cambios de color (visual)	55
8.1.3. Pudrición macroscópica	55
8.1.4. Cambios de sabor	55
8.1.5. Cambios en la superficie de deshidratación	59
8.1.6. Cambios de textura	59
8.1.7. Cambios objetivos en el color	62
8.1.7.1. Cambios en el índice de blancura y luminosidad	62
8.1.7.2. Cambios en el ángulo de matiz	62
8.1.7.3. Cambios en la cromatacidad	62
8.1.8. Cambios en el contenido de azúcares	66
8.1.9. Cambios en el contenido de fenoles	66
8.2. Efecto del tratamiento térmico sobre la reducción del oscurecimiento en jícama mínimamente procesada	70
8.2.1. Establecimiento de las condiciones del tratamiento térmico	70

8.2.1.1. Cambios en el índice de blancura y luminosidad	70
8.2.1.2. Cambios en el ángulo de matiz	70
8.2.1.3. Cambios en la cromaticidad	72
8.2.1.4. Cambios en la textura	72
8.2.2. Estudio del efecto térmico sobre la calidad de la jícama mínimamente procesada y almacenada a diferentes temperaturas	73
8.2.2.1. Cambios en la calidad visual	73
8.2.2.2. Cambios en el oscurecimiento visual	73
8.2.2.3. Pudrición macroscópica	76
8.2.2.4. Cambios de sabor	76
8.2.2.5. Superficie de deshidratación	76
8.2.2.6. Cambios objetivos en el color	80
8.2.2.6.1. Cambios en el índice de blancura y luminosidad	80
8.2.2.6.2. Cambios en el ángulo de matiz	80
8.2.2.6.3. Cambios en la cromaticidad	84
8.2.2.6.4. Cambios en la textura	84
8.2.2.7. Cambios en el contenido de fenoles	87
9. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	90
10. CONCLUSIONES	94
11. PROPUESTAS	95
LITERATURA CITADA	96
ANEXO 1	107
ANEXO 2	116

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Comparación de la composición nutrimental de la jícama con otras raíces	10
Cuadro 2. Contenido de aminoácidos de la jícama y su comparación con el patrón de la FAO	14
Cuadro 3. Relación entre las propiedades fisicoquímicas de la fibra dietética y su efecto fisiológico	23
Cuadro 4. Principales estados productores de jícama	28
Cuadro 5. Análisis estadístico de la fuerza de penetración y distancia al punto de ruptura	61
Cuadro 6. Resultados y análisis estadístico del tratamiento preliminar de la jícama tratada térmicamente	71
Cuadro 7. Contenido de fenoles en jícama mínimamente procesada tratada térmicamente almacenada a diferentes temperaturas	89

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag.
FIGURA 1. Estrategia experimental de los tratamientos y análisis realizados en la investigación	45
FIGURA 2. Establecimiento de las condiciones del tratamiento térmico	46
FIGURA 3. Cambios en la calidad visual de jícama mínimamente procesada en diferentes formas geométricas y almacenada a diferentes temperaturas	54
FIGURA 4. Cambios en el oscurecimiento subjetivo de jícama mínimamente procesada en diferentes formas geométricas y almacenada a diferentes temperaturas	56
FIGURA 5. Manifestaciones de la pudrición macroscópicas de jícama mínimamente procesada en diferentes formas geométricas y almacenada a diferentes temperaturas	57
FIGURA 6. Evaluación de sabor de jícama mínimamente procesada en diferentes formas geométricas y almacenada a diferentes temperaturas	58
FIGURA 7. Cambios en la superficie de deshidratación de jícama mínimamente procesada en diferentes formas geométricas y almacenada a diferentes temperaturas	60
FIGURA 8. Cambios en el índice de blancura de jícama mínimamente procesada en diferentes formas geométricas y almacenada a diferentes temperaturas	63
FIGURA 9. Cambios en la luminosidad de jícama mínimamente procesada en diferentes formas geométricas y almacenada a diferentes temperaturas	64
FIGURA 10. Cambios en el ángulo de matiz de jícama mínimamente procesada en diferentes formas geométricas y almacenada a diferentes temperaturas	65
FIGURA 11. Cambios en la cromaticidad de jícama mínimamente procesada en diferentes formas geométricas y almacenada a diferentes temperaturas	67
FIGURA 12. Cambios en el contenido de azúcares de jícama mínimamente procesada en diferentes formas geométricas y almacenada a diferentes temperaturas	68

FIGURA 13. Cambios en el contenido de fenoles en jícama mínimamente procesada en diferentes formas geométricas y almacenada a diferentes temperaturas	69
FIGURA 14. Cambios en la calidad visual de jícama mínimamente procesada tratada térmicamente y almacenada a diferentes temperaturas	74
FIGURA 15. 15. Presencia de oscurecimiento en jícama mínimamente procesada tratada térmicamente y almacenada a diferentes temperaturas	75
FIGURA 16. Desarrollo de pudrición macroscópica en jícama mínimamente procesada tratada térmicamente y almacenada a diferentes temperaturas	77
FIGURA 17. Cambios en el sabor en jícama mínimamente procesada tratada térmicamente y almacenada a diferentes temperaturas	78
FIGURA 18. Cambios en la superficie de deshidratación en jícama mínimamente procesada tratada térmicamente y almacenada a diferentes temperaturas	79
FIGURA 19. Cambios en el índice de blancura de jícama mínimamente procesada tratada térmicamente y almacenada a diferentes temperaturas	81
FIGURA 20. Cambios en la luminosidad en jícama mínimamente procesada tratada térmicamente y almacenada a diferentes temperaturas	82
FIGURA 21. Cambios en el ángulo de matiz en jícama mínimamente procesada tratada térmicamente y almacenada a diferentes temperaturas	83
FIGURA 22. Cambios en la cromaticidad en jícama mínimamente procesada tratada térmicamente y almacenada a diferentes temperaturas	85
FIGURA 23. Distancia al punto de ruptura en jícama mínimamente procesada tratada térmicamente y almacenada a diferentes temperaturas	86
FIGURA 24. Cambios en el contenido de fenoles en jícama mínimamente procesada tratada térmicamente y almacenada a diferentes temperaturas	88
FIGURA 25. Cambios de la profundidad al punto de ruptura de acuerdo a la relación área/volumen en jícama mínimamente procesada almacenada a diferentes temperaturas	91

1. RESUMEN

La jícama es una raíz originaria de México, se consume 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, relación área/volumen y tratamiento térmico adecuados para conservar la calidad de jícama mínimamente procesada. Para determinar las condiciones de temperatura y geometría, cilindros de 1.8 cm de diámetro y de 5, 2 y 0.5 cm de longitud fueron cortados, sanitizados en una solución de cloro, y almacenados durante 16 y 12 días a 2, 5 y 10°C bajo una corriente de aire humidificado, evaluándose su calidad visual, oscurecimiento, presencia de pudriciones, deshidratación, sabor, color, textura, contenido de azúcares y fenoles condensados. Para evaluar el efecto del tratamiento térmico, se realizó un estudio preliminar donde cilindros de jícama fueron sometidos a tratamiento térmico a 45, 50, 55 y 60°C; por 2, 4 y 6 minutos, las muestras fueron enfriadas y almacenadas a 10°C realizándose evaluaciones de color y textura los días 0 y 6. Bajo las condiciones más adecuadas se trataron hidrotérmicamente cilindros de jícama de 1.8 x 2 cm a 50°C durante 2 minutos y fueron almacenados durante 20 y 10 días a 2, 5 y 10°C bajo una corriente de aire humidificado, analizándose parámetros de calidad, color, textura y contenido de fenoles condensados. La calidad visual de jícama mínimamente procesada estuvo inversamente relacionada con la temperatura siendo la de 2°C la que conservó mejor su calidad. No se encontraron diferencias de este parámetro entre las diferentes relaciones área/volumen de jícama mínimamente procesada siendo la temperatura el factor que más influyó en la conservación de la calidad. La profundidad al punto de ruptura permitió detectar diferencias de textura entre las distintas relaciones de área/volumen, la mayor relación de área/volumen mantiene valores cercanos a los de la jícama fresca, lo que sugiere que las mejores piezas para jícama mínimamente procesada son las que tengan entre 5 y 2 cm⁻¹ y almacenadas a 2°C. Las muestras mantenidas a 2°C incrementaron su contenido de azúcares a través del tiempo de almacenamiento, en tanto que las de 5°C lo disminuyeron y a 10°C lo mantuvieron, indicando un fenómeno de endulzamiento durante el almacenamiento que estuvo asociado a las temperaturas aplicadas. Se encontró una baja correlación entre el contenido de fenoles y los cambios de color, observándose mayor contenido de fenoles a 2°C que a 10°C. Las muestras sometidas al tratamiento térmico mostraron niveles inferiores en el contenido de fenoles de las muestras control, lo cual indica que este tratamiento tendió a reducir el nivel de fenoles condensados y oscurecimiento. Para conservar la calidad de la jícama mínimamente procesada, esta deberá almacenarse a 2°C y tener una relación área/volumen entre 5 y 2 cm⁻¹. La jícama como producto mínimamente procesado ofrece ventajas importantes al productor, porque incrementaría su comercialización y diversificación lo cual le daría un valor agregado al producto; en cuanto al consumidor se incrementaría el acceso de jícama a un mayor número de personas y su consumo sería más práctico y seguro, además de aportar beneficios importantes en la alimentación como en el tratamiento de la obesidad e hipertensión y otras enfermedades crónico degenerativas.

2. INTRODUCCIÓN.

La jícama (*Pachyrhizus erosus*), 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, 1990; Casanueva, 1995; y Fernández y col., 1996).

Es una de las pocas raíces que se consumen como una verdura como ya se ha mencionado es nativa de América y donde se ha consumido por siglos en la zona del bajo.

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). En Nayarit se encuentran producciones comerciales dedicadas a este cultivo como actividad principal.

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%) 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).

Además de su importancia económica, la jícama posee un valor nutricional relevante, ya que contiene de 3 a 5 veces el contenido de proteína en comparación con otras raíces, como la zanahoria y el camote, vitaminas como la vitamina C, tiamina y riboflavina, nutrientes inorgánicos (fósforo, calcio, hierro y cobre), así como un alto contenido de fibra y humedad (Ramírez-Moreno, 1999; Instituto Nacional de la Nutrición, 1992).

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 en 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).

El sucesivo incremento de los productos mínimamente procesados en los mercados de Europa y Estados Unidos se ha visto favorecido por la modificación de las costumbres socioeconómicas de la población. Cada vez más, el consumidor demanda dietas constituidas por nutrientes procedentes de productos frescos y naturales (no procesados); así mismo, la modificación de los hábitos alimentarios y, concretamente, la disminución del tiempo destinado por el consumidor para la preparación de las comidas, han contribuido al

incremento de la demanda de productos mínimamente procesados (Romojaro y col., 1996).

Entre las ventajas potenciales que los productos mínimamente procesados ofrecen al consumidor se pueden mencionar: la promoción 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).

La preparación de frutas y verduras mínimamente procesados 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 sólo 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 formar compuestos coloreados y con ello el oscurecimiento del tejido (Saltveit, 1998; Brecht, 1995).

El pardeamiento enzimático de vegetales se ha relacionado con el incremento de compuestos fenólicos y con la oxidación de los mismos (Martínez-Téllez y Lafuente, 1997). Los productos mínimamente procesados son más perecederos que los intactos por lo cual la disminución de la temperatura, se utiliza comúnmente como herramienta para su conservación. Para la aplicación de este proceso es necesario determinar la temperatura óptima de almacenamiento de estos productos.

El almacenamiento a bajas temperaturas es un procedimiento general para conservar frutas y hortalizas, pero su aplicación especialmente en frutos tropicales induce a daño por frío. Para

resolver este problema se recurre a métodos que alivian este problema, como lo son los tratamientos térmicos, que incrementan la tolerancia a las bajas temperaturas (Lurie y Klein, 1991).

El procesado térmico de los alimentos es uno de los métodos más utilizados por el hombre (Lund, 1975; Frazier y Westhoff, 1978), entre sus muchas aplicaciones, se ha utilizado en productos hortofrutícolas como sistema para reducir incidencia de patógenos de frutas y trozos pelados de raíces frescas, para disminuir la microflora endógena de las frutas, reducir los niveles de microorganismos y para disminuir parcialmente la actividad de la polifenol oxidasa (Wiley, 1997).

Este trabajo tuvo el interés de investigar los efectos de la temperatura, la geometría y el tratamiento térmico sobre la calidad de jícama mínimamente procesada, para conocer los factores básicos que permitan establecer las condiciones de la aplicación de la tecnología de productos mínimamente procesados en estas raíces.

3. JUSTIFICACIÓN.

Como ya se ha mencionado, acerca de la importancia alimentaria, su distribución en las distintas zonas de cultivo; la jicama requiere de un mayor conocimiento para incrementar su comercialización y darle un valor agregado que permita hacer su cultivo y comercialización más atractivo para los productores.

Una de estas alternativas, que ya se ha mencionado, es la aplicación de la tecnología de productos mínimamente procesados, los cuales requieren de una mínima preparación por parte del consumidor. Sin embargo, su aplicación debe de resolver algunos problemas para que la calidad del producto se mantenga durante un tiempo razonable para la comercialización y consumo.

Los aspectos más importantes que hay que definir son: establecer la temperatura más apropiada que permita, lograr una vida de anaquel más larga. No obstante, el grado de daño físico que se induce durante la preparación del producto implica una mayor o menor ruptura de tejidos que van a influir de forma directa en la velocidad de las reacciones de deterioro.

Por lo cual es importante definir si existe una relación entre la superficie dañada o geometría y el nivel de daño adquirido. Para con ello establecer si una forma en particular permite un menor deterioro en forma conjunta con la temperatura.

Cuando las reacciones de deterioro puedan o sean suficientemente disminuidas con la temperatura y la forma geométrica; se aplican procesos que bloquean la acción de los agentes del deterioro con lo cual se permite una mayor vida de anaquel.

El oscurecimiento de alimentos, en particular los mínimamente procesados, puede ser controlado por la aplicación de tratamientos térmicos que inactivan la acción de las enzimas involucradas en este proceso. Para lograr esto es preciso determinar en cada producto la mejor temperatura y el tiempo mínimo de tratamiento para controlar el oscurecimiento con

el menor deterioro de la calidad del producto.

En cuanto a su aplicación práctica, no se ha investigado la posibilidad de aplicar la tecnología del procesado mínimo a las raíces de jícama con el fin de ofrecer una alternativa a los productores para ampliar su comercialización en restaurantes, comedores industriales, supermercados y escuelas; así como diversificar su producción y dar un mayor valor agregado al producto.

La demanda de la jícama mínimamente procesada podría incrementarse debido a que cada vez el consumidor demanda dietas constituidas por nutrimentos procedentes de productos frescos; y también está modificando sus hábitos alimentarios y concretamente ha disminuido el tiempo destinado a la preparación de las comidas; por lo que este producto podría ser un medio en la preparación de ensaladas o botanas.

El facilitar el consumo de jícama fresca o mínimamente preparada también aportaría beneficios importantes en la alimentación debido a su composición en fibra dietaria por lo que puede ayudar en el tratamiento de distintas enfermedades como diabetes, obesidad, hipertensión y enfermedades del corazón.

4. REVISIÓN DE LITERATURA.

4.1. Descripción botánica.

La jícama es originaria del centro y sur de México y el norte de Centro América, y fue cultivada por las culturas mesoamericanas. Los primeros exploradores españoles y portugueses la llevaron a varias regiones de Latinoamérica y a muchas islas del pacífico (Casanueva, 1995), tanto como a otros continentes como África, Asia y Oceanía (Sørensen, 1988). Botánicamente es una leguminosa cuyo nombre científico es *Pachyrhizus erosus* (Casanueva, 1995), de desarrollo vigoroso, cualidad que le hace ser un cultivo con mayor capacidad de rendimiento por hectárea que sus homólogas (Juárez-Goiz, 1994).

Cuando se piensa en jicamas, en México solo viene a la memoria la imagen de la raíz, sin embargo, como cualquier otra planta, también tiene tallos, hojas flores, frutos y semillas y estas partes son útiles para el hombre (Casanueva, 1995). La raíz, es de cubierta café claro y pulpa blanca, forma oval, periforme o globulosa y alcanza un peso de 0.5-2.5 Kg. Es apreciada por su textura crujiente, color blanco y sabor agradable (Sørensen, 1996).

En México se hace la distinción entre dos tipos de jícama conocidos como jícama de agua (más consumida) y jícama de leche, las cuales incluso pueden provenir de la misma semilla. La jícama de agua corresponde a una raíz más proporcional y succulenta, de sabor mas dulce y con un jugo comparativamente más claro. Por su parte, la jícama de leche, produce un jugo lechoso y posee raíces más largas y delgadas que tienden a penetrar más en el suelo. En todos los casos las raíces tienen una corteza delgada y fácilmente desprendible, cuyo color varía de café oscuro a café claro. En su interior son de color blanco traslucido de textura crujiente y succulenta y sabor levemente dulce.

P. erosus es una planta de tallos rastreros o algo trepadora, vellosos que parten de una raíz gruesa, oval o globosa. Las hojas son largamente pecioladas, consta de 3 hojuelas (trifoliadas) de forma muy variable, simples o lobuladas, enteras o toscamente dentadas,

miden de 4 a 20 cm de largo por 6 a 22 cm de ancho, ensanchadas hacia la extremidad, deltoides con estipulas pequeñas y lineales (INEGI, 1991).

Las inflorescencias son racimos erectos, de hasta 0.5 m de longitud, axiales, constituidos por una a cinco flores típicamente amariposadas, las cuales son grandes, de aproximadamente 2 cm de largo, moradas, rosadas o blancas. Los frutos son vainas lineales, comprimidas de 5 a 15 cm de largo, pilosas, contiene de 8 a 10 semillas reniformes o cuadradas, con hilio pequeño, son negras, marrones o amarillos. Las raíces grandes y tuberosas, son los órganos de reserva de la planta, con una amplia variabilidad en su forma, desde casi esférica hasta muy irregulares, los tejidos de reserva son blancos jugosos y ligeramente azucarados (INEGI, 1991). Como cualquier otra leguminosa la jícama es capaz de fijar el nitrógeno atmosférico, lo que hace deseable el reciclaje de sus residuos de cosecha. De hecho, el uso del forraje de jícama ha permitido reducir las aplicaciones de nitrógeno por hectárea de 240 a 120 kg, en términos generales se considera que la jícama es una buena fuente de abono verde (Casanueva, 1995). Esta raíz crece bien en ambientes húmedos y requiere de estaciones de crecimiento cálidas y libres de heladas con suelos húmedos, de textura ligera y bien drenadas y en condiciones de día corto para una producción máxima de raíz, que es el producto principal (Rubatzky y Yamaguchi, 1997).

4.2. Composición nutrimental.

La jícama es importante nutrimentalmente ya que contiene de 3 a 5 veces más contenido de proteínas que otras raíces como la zanahoria (Sørensen, 1990), su aporte de vitamina C es alto al igual que el camote (Cuadro 1); su aporte de nutrimentos inorgánicos (calcio, hierro) y vitaminas (tiamina, riboflavina, vitamina C y niacina) en comparación con las otras raíces. Ramírez-Moreno (1999), reportó para jícama un contenido de humedad de 90%, 0.53-0.67% de proteína, 3.94-4.56% de azúcares y 1.4% de fibra.

Cuadro 1. Comparación de la composición nutrimental de la jícama con otras raíces (por 100 g de materia húmeda).

NUTRIMENTOS	JÍCAMA	CAMOTE	ZANAHORIA	PAPA
Energía (kcal)	39	103	44	76
Humedad (%)	78-90	70.6	88.2	81
Proteína (g)	1-1.5	1.0	0.4	1.6
Lípidos (g)	0.09	0.4	0.3	0.1
Hidratos de Carbono (g)	8-15	24	10.5	17.5
Fibra (g)	0.6-1.4	1.0	0.9	0.5
Calcio (mg)	15.0	41	26	13
Hierro (mg)	0.5-1.1	1.0	0.6	2.7
Vitaminas (mg/100 g porción comestible)				
Tiamina	0.05-0.5	0.09	0.04	0.07
Riboflavina	2	0.03	0.5	0.03
Vitamina C	14-20	23	19	15
Niacina	2	0.6	0.5	1.1

Casanueva, 1995; Sørensen, 1990; Instituto Nacional de la Nutrición, 1992.

El contenido calórico de la jícama es bajo por lo cual puede ser de importancia en las dietas hipocalóricas. Además, su contenido de agua es alto aproximadamente 90% (Sørensen, 1990 y Ramírez-Moreno, 1999), por lo tanto al ser consumida causa una sensación de saciedad y aunado a su bajo contenido energético puede ser significativo en el control de enfermedades como: obesidad, hipertensión, diabetes y enfermedades del corazón (Felman, 1990).

La jícama es rica en almidón (10%), de buen sabor, comparable al de la yuca y el camote (Casanueva, 1995), el contenido de amilosa del almidón de la jícama es de 23%. El modelo de cristalización del almidón es del tipo A (formado por hélices dobles y el canal que se encuentra en el centro está ocupado por otra doble hélice). Los ensayos biológicos de la eficiencia nutricia del almidón mostraron que la digestibilidad de éste es del 100%, debido a que es fácilmente degradado por hidrólisis enzimática, comparado con el tipo B (es similar al tipo A, pero en ella el canal central está relleno de agua) que sólo es de 69%. En general los gránulos de almidón de los tubérculos son más cristalinos que los de los cereales (Mélo y col., 1994).

La fibra dietética es un componente importante de los alimentos, esta consiste de material de origen vegetal resistente a la acción hidrolítica de las enzimas endógenas del tracto digestivo (Ramos, 1985). La ingestión de fibra dietética por el cuerpo humano está asociada con una gran variedad de efectos fisiológicos, entre los cuales incluyen incremento en el peso y volumen de materia fecal, disminución de la concentración plasmática del colesterol, disminución en la respuesta glicémica a los alimentos, efecto variable en el riesgo de padecer cáncer de colon y recto y la disminución en la digestibilidad biológica de nutrimentos (Ramos, 1985).

Se ha encontrado que el tipo de fibra que contiene la jícama son pectinas, hemicelulosa, celulosa y lignina (Mélo y col., 1994), compuestos que tienen la propiedad fisicoquímica de adsorción de compuestos orgánicos lo cual, conlleva como respuesta fisiológica la

interacción y excreción tanto de ácidos biliares como de compuestos carcinógenos (Ramos, 1985). Los polisacáridos no celulósicos son los de más fácil digestión, pues como la pectina que tiene una digestibilidad del 60% son hidrosolubles. Al mismo tiempo las sustancias pécticas pueden retener agua. La celulosa y hemicelulosa, no son vectores importantes de energía para el hombre por la incapacidad que este tiene para hidrolizarlas; no obstante, son de suma importancia para lograr un buen estado de nutrición (Ramos, 1985).

Las raíces tuberosas de algunas leguminosas son usadas en varios países de África y Asia, principalmente por ser fuente de carbohidratos, pero si se consumen en grandes cantidades, estas podrían ser una sustancial contribución en el aporte de proteína. Se estudió el contenido de nitrógeno de raíces tuberosas, donde se encontró que específicamente la jícama, tiene entre 2.90 y un 3.08% de nitrógeno en base seca (Evans y col., 1977). Se ha documentado que la raíz de la jícama posee de 3 a 5 veces más nitrógeno que las raíces de la papa, el camote y la yuca (Casanueva, 1995).

4.2.1. Calidad de la proteína de la jícama.

La calidad de la proteína se mide por comparación de las proporciones de aminoácidos esenciales en un alimento con las proporciones necesarias para una nutrición adecuada. Mientras más se aproximen estas cantidades, más elevada es la calidad de la proteína. Las proteínas de la leche y el huevo son las de mayor calidad por lo tanto se consideran estándares de referencia contra los que pueden compararse otras proteínas.

Las proteínas de la carne son de elevada calidad, en tanto que las proteínas de los vegetales, así como de algunos tubérculos, tienen deficiencias relativas en ciertos aminoácidos esenciales.

Las raíces tuberosas de algunas leguminosas son usadas en varios países de África y Asia, como fuentes de hidratos de carbono, pero si se consume en grandes cantidades, podría contribuir en forma sustancial en los requerimientos de proteína. Casanueva (1995), reporta

un contenido de 1.3 g de proteína/100 g de raíz y de igual forma Sørensen (1996), señala un contenido de 1.5 g/100 g de raíz (jícama).

Sin embargo, de los pocos estudios que se tienen, se ha reportado que la jícama de México contiene entre 2.9% y un 3.08% de nitrógeno en base seca. Pero la jícama contiene una gran proporción de nitrógeno no proteínico. Aproximadamente 43% del nitrógeno total no corresponde al nitrógeno de aminoácidos (Evans y col., 1977). También estos autores reportan un perfil de aminoácidos que se muestra en el cuadro 2, en el que se puede observar que la calidad de la proteína es baja en comparación con el parámetro de la FAO, observándose deficiencias en todos los aminoácidos esenciales con excepción del triptófano. No obstante, Sørensen (1996), indica que esta proteína es de alta digestibilidad. Ramírez-Moreno (1999), reportó para jícama un contenido de proteína de 0.53-0.67%/ 100 g.

4.2.2. Importancia del almidón en los vegetales.

El almidón es un polisacárido que se encuentra en forma muy abundante en los cereales, tubérculos y en algunas frutas como reserva energética, su concentración varía con el estado de maduración; en estado inmaduro el almidón constituye la mayor fracción de los hidratos de carbono, ya que los azúcares son muy escasos; a medida que la fruta madura, el polisacárido se hidroliza por la acción de las amilasas y mediante otros sistemas enzimáticos se produce sacarosa y fructosa que son los responsables del sabor dulce de los frutos cuando llegan a su madurez comestible (Badui, 1995).

Sørensen (1996), reportó un contenido promedio de almidón de 7.1 g/100 g de tejido entre distintas variedades de *P. erosus*. En otros estudios se encontró que el contenido de almidón de la jícama era de 16.1% de la materia seca (Zinsou, 1992).

Los ensayos biológicos realizados con el almidón de la jícama, indicaron que su digestibilidad de éste es del 100% debido a que es fácilmente degradado por hidrólisis

Cuadro 2. Contenido de aminoácidos de la jícama y su comparación con el patrón de la FAO (base seca g de aminoácido por 100 g de proteína).

AMINOÁCIDOS	JÍCAMA %	FAO(1973)
Aspártico	55.14	
Isoleucina*	2.09	4.0
Treonina*	2.68	4.0
Leucina*	2.91	7.0
Serina	3.28	
Triptofano*	1.71	1.0
Glutamato	5.37	
Fenilalanina*	2.31	6.0++
Prolina	2.53	
Histidina	2.53	
Glicina	1.86	
Lisina*	3.28	5.5
Alanina	2.46	
Arginina	7.38	
Valina*	3.20	5.0
Cisteina	0.45	
Metionina*	0.82	3.5+

(Evans y col., 1977).

* AMINOÁCIDOS ESENCIALES

+ INCLUYE METIONINA+CISTINA

++ INCLUYE FENILALANINA+TIROSINA

enzimática (Mélo y col., 1994). Estos mismos autores encontraron que tenía un alto contenido de amilosa (23%) comparado con el almidón de la yuca y del maíz lo cual le podría dar una característica de mayor viscosidad. De igual forma indicaron que este almidón tenía un patrón de cristalización muy alto (tipo A), lo cual lo hace más susceptible al ataque enzimático.

4.2.3. Contenido de azúcares en vegetales.

Los hidratos de carbono son los principales constituyentes de los vegetales, siendo los azúcares y el almidón los más importantes. La glucosa, fructosa y sacarosa son los principales azúcares que se encuentran en las plantas, aunque normalmente no están libres en grandes cantidades en los extractos vegetales. Debido a que juegan un papel preponderante en el metabolismo, existen también como derivados fosforilados. Otros azúcares que forman parte del tejido vegetal, pero que generalmente están en forma de polisacáridos o glicoconjugados, son la manosa, galactosa, xilosa, arabinosa, ribosa, apiosa, ramnosa y ácido galacturónico (Sturgeon, 1990).

La glucosa, en su forma libre o combinada, no sólo es el más común de los azúcares, también es probablemente el compuesto orgánico más abundante. Se encuentra libre en frutos y savia de plantas; es uno de los mayores componentes de muchos oligosacáridos (notablemente de la sacarosa), polisacáridos (particularmente celulosa, almidón y glucógeno) y glucósidos (como pigmentos y antibióticos naturales).

La fructosa está ampliamente distribuida en forma libre en jugos de frutas y miel. La unión de la fructosa con la glucosa forma el disacárido sacarosa, el cual se localiza casi universalmente en todo el reino vegetal en los jugos, semillas, hojas, frutos, flores y raíces de plantas (Sowden, 1957; Hassid y Ballou, 1957).

Los azúcares, ya sea libres o combinados con otros constituyentes, son de importancia para la valoración de la calidad de los frutos. El sabor agradable de los frutos se alcanza mediante

un equilibrio en la proporción ácido-azúcar; los colores atractivos de muchos frutos están en función de compuestos derivados de los fenoles como las antocianinas; la textura esta gobernada por la combinación apropiada de pectinas para formar polisacáridos estructurales y almidones; y finalmente, el ácido ascórbico considerado como un azúcar derivado, está extensamente distribuido en frutos, algunas veces en forma abundante (Mottoo y col., 1979; Whiting, 1970).

El promedio del contenido total de azúcares en muchos frutos se encuentra entre el 5 y 10%. Debido a que otros azúcares diferentes a glucosa, fructosa y sacarosa están raramente presentes en frutos y solo en muy pequeñas cantidades, los valores se consideran la suma de estos tres azúcares (Whiting, 1970).

La maduración de los frutos climatéricos está acompañada por la drástica disminución del almidón y acidez, así como de un marcado aumento en azúcares totales, lo cual se puede utilizar como índice de madurez (Avilan y col., 1989). En frutos no climatéricos, la acumulación de azúcares también se asocia con el desarrollo de la calidad de consumo óptima, aunque en este caso, los azúcares derivan de la savia traslocada dentro del fruto, en lugar del rompimiento de las reservas de almidón (Wills y col., 1981).

4.2.4. Hidratos de carbono.

Los carbohidratos, hidratos de carbono o glucidos son compuestos orgánicos formados por carbono, hidrógeno y oxígeno, aunque ciertos miembros del grupo también contienen nitrógeno, fósforo y azufre. Originalmente como el nombre lo implica, se consideró que los carbohidratos debían corresponder a la forma empírica $C_nH_{2n}O_n$, o $C_n(H_2O)_n$, de donde se tomó la designación de “hidratos” de carbono; en la actualidad, se sabe que existen numerosas excepciones a dicha composición, pero que mantienen las propiedades generales de los carbohidratos (Laguna, 1979). Los carbohidratos se definen como compuestos con estructura de polihidroxialdehído o de polihidroxiacetona, o bien, sustancias que dan tales productos por hidrólisis (Badui, 1993).

Los hidratos de carbono tienen una gran diversidad de funciones en los seres vivos. Las más importantes son las que se refieren al aporte energético, satisfaciendo parte importante de las necesidades calóricas de los animales; la formación de materiales de reserva; la constitución de compuestos estructurales; y la intervención como precursores biológicos de otras sustancias orgánicas, como ciertos lípidos y proteínas (Laguna, 1979).

4.2.5. Clasificación de los Hidratos de carbono.

La clasificación de los hidratos de carbono se hace de acuerdo con varios criterios: estructura química, abundancia en la naturaleza, uso en alimentos, poder edulcorante, entre otros. Normalmente se prefiere el criterio de la estructura química, que se basa en el tamaño de la molécula o en el número de moléculas de azúcares simples que contiene, según lo cual, los carbohidratos pueden ser monosacáridos, oligosacáridos y polisacáridos (Badui, 1993).

Los monosacáridos o azúcares sencillos están constituidos por una unidad aislada de polihidroxialdehído o cetona, que no puede ser hidrolizada bajo condiciones normales, en unidades más simples. A su vez, los monosacáridos se clasifican de acuerdo al número de átomos de carbono que contienen; así, existen las triosas que tienen tres átomos de carbono, las tetrasas que tienen cuatro átomos de carbono, las pentosas con cinco y así sucesivamente hasta las nonosas que tienen nueve átomos de carbono. Los monosacáridos más abundantes son las pentosas y las hexosas.

Los oligosacáridos son compuestos formados de dos a diez unidades de monosacáridos, unidos mediante enlaces glucosídicos. Entre ellos se distinguen los disacáridos, que cuentan con dos unidades de monosacáridos; los trisacáridos, que poseen tres unidades, etc. Los oligosacáridos más comúnmente encontrados en material vegetal son los disacáridos, y dentro de estos, el más abundante es la sacarosa.

Los polisacáridos son moléculas integradas por un gran número de unidades de monosacáridos, ligadas a través de enlaces glucosídicos, formando cadenas muy largas que

pueden ser lineales o ramificados y estar compuestas por una o varias clases de monosacáridos. Los polisacáridos localizados en tejidos vegetales pueden desempeñar funciones metabólicas, de almacenamiento o estructurales; los más importantes son el almidón y la celulosa (Laguna, 1979).

4.2.6. Importancia de los azúcares.

En relación a los monosacáridos, la glucosa se encuentra en mayor concentración en algunas frutas y hortalizas, la cual va a depender del grado de madurez del producto. Existen en la naturaleza muchos monosacáridos; la glucosa o dextrosa es el azúcar básico que utiliza el cuerpo humano al igual que la fructosa que es el azúcar comúnmente encontrado en las frutas, también se encuentran en la miel, frutas y verduras, al igual que la galactosa, manosa, arabinosa, xilosa y varios otros se encuentran en numerosos productos (Kays, 1991).

Los azúcares o hidratos de carbono se consideran como una fuente importante de energía por su fácil asimilación. Son la fuente más abundante y barata de alimentos en la naturaleza y por lo tanto los más consumidos por los seres humanos. En la ingestión diaria de alimento consumido, el 60% corresponde a hidratos de carbono totales y de ellos el 20% corresponde a azúcares simples.

Estos compuestos tienen una gran diversidad de funciones en los seres vivos, las más importantes son las que se refieren al aporte energético pero también intervienen como precursores biológicos de otros compuestos biológicos muy importantes, como los lípidos y las proteínas (Murray, 1992; Kays, 1991).

Sørensen (1996), reportó para diferentes variedades de *P. erosus* un contenido de azúcares reductores de 2.2 y no reductores de 3.0 g/100 g de peso fresco. Las tablas de composición de alimentos de México, sólo dan valores del contenido de hidratos de carbono totales y estos se ubican en 10.3 g /100 g de muestra (Casanueva, 1995).

Zinsou (1992), encontró que los azúcares solubles presentes en la jícama (*P. erosus*), son la glucosa, la fructosa y la sacarosa. La composición sobre base seca de los azúcares totales de la raíz fue la siguiente:

Azúcares reductores	27.1
Azúcares no reductores	8.2

Paull y Chen (1988), reportaron un contenido de azúcares totales en *P. erosus* de 35 mg/g de peso fresco, en tanto que el contenido de sacarosa fue de 10, glucosa de 17 y fructosa de 14 mg/g de peso fresco. Ramírez-Moreno (1999), reporta para jícama un contenido total de azúcares de 3.94-4.56%/ 100 g. Los cuales se encuentran dentro de los límites reportados por Paull y Chen (1988).

Los azúcares reductores pueden tener algún efecto sobre el desarrollo de color de los productos procesados cuando estos reaccionan con aminoácidos libres formando melanoidinas de color café (Fennema, 1985).

4.2.7. Fibra dietaria.

Ramírez-Moreno (1999), reportó para jícama un contenido de fibra dietaria de 1.40%/100 g, en tanto que Casanueva (1995) y Sørensen (1996) reportan un contenido de fibra de 0.7 g/100 g de peso fresco indicando que esta diferencia podría ser debido al tipo de fibra determinado en cada caso, siendo la fibra dietaria la que esta autora reporta en tanto que en los otros casos pueden referirse a fibra cruda.

La fibra dietaria ha sido definida como los polisacáridos de celulosa y lignina así como las hemicelulosas y las pectinas que componen las paredes celulares de las plantas. La celulosa y la lignina no son hidrolizadas por las enzimas del tracto digestivo de los animales y humanos. La lignina es un polímero de unidades de fenilpropano, en tanto que la celulosa es un polímero de unidades de glucosa y así como la lignina se encuentra únicamente en la fracción insoluble de la fibra.

Las hemicelulosas están constituidas por un grupo de polisacáridos con diversos tipos de monómeros (heteropolisacáridos) que se localizan principalmente en la pared celular y que son muy distintos a la celulosa o al almidón. Las pectinas son polímeros de residuos de ácido galacturónico entremezclados con ramnosa y cadenas laterales que contienen azúcares neutros.

La fibra dietaria agrega volumen a la ración de alimentos. En el hombre una alimentación rica en fibra ejerce efectos benéficos porque ayuda a la retención de agua durante el paso de los alimentos por el intestino y en consecuencia produce heces más grandes y blandas; por ello, la fibra dietética forma la masa principal de los residuos de la digestión. Una alimentación rica en fibras se relaciona con una menor frecuencia de diverticulosis, cáncer de colon, enfermedad cardiovascular y diabetes.

Las fibras insolubles, como son la hemicelulosa y la celulosa son importantes para la función del colon (Gordon, 1989). Como beneficios colaterales que la fibra dietaria presenta en la nutrición se pueden mencionar los siguientes:

La fibra como tal casi no proporciona energía y muchos alimentos fibrosos, son muy bajos en energía; sin embargo, la fibra es “llenadora” debido a que absorbe agua a medida que recorre el tracto digestivo, es decir contribuye a la saciedad, por lo que la persona tiende a sentirse satisfecha cuando ingiere una cantidad elevada de fibra, aunque la energía consumida haya sido escasa (Kaufer, 1985).

Se cree que existe otra razón por la cual el consumo de fibra contribuye al control de peso. Se necesita más tiempo para masticar un alimento fibroso que uno que no lo es, esto retarda el proceso de la alimentación y permite que las señales de saciedad lleguen al cerebro antes que el sujeto se exceda en la ingestión de alimentos. Además, una abundante masticación da la sensación de que se ha comido algo “sustancial” (Kaufer, 1985). Los componentes de la fibra tienen la capacidad de hincharse al absorber agua y por lo tanto de aumentar el volumen de materia fecal; esto provoca un incremento en los movimientos peristálticos del

intestino y facilita el tránsito, la distensión intestinal y consecuentemente la defecación (Gordon, 1989).

La absorción de agua por parte de la fibra, su incremento en la viscosidad y el aumento del peristáltismo reducen el tiempo de residencia de los constituyentes del alimento en el intestino por lo que sólo las moléculas fácilmente absorbibles atraviesan la pared intestinal, en tanto que aquellas sustancias irritantes, dañinas y tóxicas pueden ser eliminadas. Por ejemplo, las cancerígenas que generalmente requieren de más tiempo para entrar al sistema linfático no tienen oportunidad de hacerlo y se eliminan en las heces (Gordon, 1989). Aun cuando la ingestión de fibra no parece modificar la flora bacteriana, los subproductos indeseables del metabolismo bacteriano se diluyen por la propiedad de retener líquidos que tiene la fibra intacta, lo cual parece disminuir el tiempo de exposición de la mucosa del colon a los posibles cancerígenos. Además, el tiempo de tránsito intestinal disminuye a medida que aumenta el volumen fecal, por lo que las sustancias potencialmente tóxicas se eliminan con mayor rapidez (Kaufer, 1985).

Para un mejor aprovechamiento de estas bondades, el consumo de la jícama debe ir acompañado de una ingestión adecuada de agua para favorecer la producción de las heces. La ingestión de fibra dietética está asociada con una variedad de efectos fisiológicos, los cuales dependen de las propiedades fisicoquímicas de los diferentes tipos de fibra. Estos efectos incluyen la disminución en la respuesta glicémica a los alimentos, efecto variable en el riesgo de cáncer de colon y recto y la disminución en la biodisponibilidad biológica de nutrimentos (Gordon, 1989).

Otro beneficio de la fibra dietética es su efecto en las concentraciones de glucosa sanguínea y en los requerimientos de insulina. Al incluir una determinada cantidad de fibra en la dieta, algunos diabéticos han logrado mantener controladas sus glucemias (concentración de la glucosa en sangre) sin insulina u otro medicamento. Las pectinas y las gomas son los tipos de fibra más efectivos para mantener la glucemia dentro de valores normales en estos pacientes. Tanto las pectinas como las gomas retardan el vaciamiento gástrico de los

alimentos ingeridos, principalmente en lo que se refiere a azúcares y, debido a su viscosidad, retardan la absorción de azúcares y lípidos. Por lo mismo, la glucemia postprandial (que es la concentración de glucosa sanguínea después de la ingestión de alimentos) aumenta con mayor lentitud, dando como resultado una necesidad menor de insulina (Kaufer, 1985).

El efecto de la fibra sobre el colesterol es el resultado de la unión de la fibra con las sales biliares, que disminuyen de esta manera su reabsorción así como la poza de ácidos biliares. Esto significa que una mayor cantidad de colesterol se puede convertir en ácidos biliares, disminuyendo así el volumen circulante de colesterol. Se ha observado que la fibra puede disminuir las concentraciones sanguíneas de triglicéridos que, al igual que el colesterol, se relacionan con la aterosclerosis. Normalmente, los triglicéridos tienden a aumentar cuando se ingiere una dieta rica en hidratos de carbono; si los mismos se consumen a la par con alimentos ricos en fibra, este aumento no se presenta (Kaufer, 1985).

La acción fisiológica específica de la fibra dietética varía dependiendo del tipo de fibra y la región del tracto digestivo. Fibras dietéticas con características fisicoquímicas diferentes, producen un efecto diferente en la ingestión, en el estomago, en el intestino delgado o en el intestino grueso. En el cuadro 3, se establece una relación entre las propiedades fisicoquímicas y el efecto fisiológico que se produce después de ser ingerido un alimento (Gordon, 1989).

4.2.8. Importancia nutrimental de los fenoles.

Su actividad antioxidativa esta relacionada a que son más reactivos con el radical peroxi que con las correspondientes quinonas, por otro lado, las quinonas son mejores agentes antioxidativos como quelantes de metales (Friedman, 1997). Los alimentos con alto contenido de lípidos, sufren reacciones indeseables como lo es la formación de radicales libres seguida por la formación de hidroperóxidos. Para evitar la formación de intermediarios en éstas reacciones se ha recurrido a los antioxidantes que evitan la propagación de radicales libres e hidroperóxidos mediante la donación de iones de hidrógeno (H^+) (Rodríguez, 1984).

Cuadro 3. Relación entre las propiedades fisicoquímicas de la fibra dietética y su efecto fisiológico.

PROPIEDADES	SUSTANCIA	EFECTO FISIOLÓGICO
Retención de agua.	* Polisacáridos (no celulosa). * Celulosa y hemicelulosa.	* Aumenta el peso de la materia fecal. * Disminuye el tránsito intestinal. * Disminuye la presión intraluminal.
Formación de geles, unión con ácidos biliares.	Pectina, gomas y mucílagos.	* Retarda el vaciamiento gástrico. * Disminuye las concentraciones sanguíneas de colesterol. * Disminuye la respuesta de insulina en los diabéticos.
Unión con ácidos biliares, intercambio de cationes.	Lignina.	* Disminuye las concentraciones sanguíneas de colesterol. * Disminuye la disponibilidad de algunos nutrimentos inorgánicos.
Intercambio de cationes.	de Polisacáridos ácidos.	* Disminuye la disponibilidad de algunos nutrimentos inorgánicos.

Kaufer, 1985.

El mecanismo de acción de los fenoles es formando compuestos conocidos como “radicales libres antioxidantes”. Estos compuestos son estables y no son reactivos.

Los radicalés libres de los ácidos grasos reaccionan preferentemente con los antioxidantes fenólicos y evitan las reacciones en cadena, evitando con ello que se alteren el sabor y olor de esos alimentos (Sortwell, 1996).

Los nitritos en los alimentos pueden reaccionar con aminas secundarias formando nitrosaminas mutagénicas y carcinogénicas. Algunos fenoles como el ácido clorogénico y otros, pueden bloquear su formación por competitividad reaccionando con el nitrito; de esta forma dando su carácter antigenotóxico descrito.

Este efecto antigenotóxico de los fenoles podría basar su eficiencia en inhibir la formación de compuestos N-nitroso por reducción del agente nitrosante a óxido nítrico (NO). Aunque esta acción es específica para algunos compuestos fenólicos, algunos otros fenoles sintéticos no muestran la propiedad de inhibir la formación de nitrosaminas. En tanto que otros como los flavonoides efectúan una catálisis de la formación de nitrosaminas. Esto ocurre por ejemplo en productos ahumados de pescado y jamón (Stinch, 1991).

Por la afinidad que presentan los fenoles por el colesterol pueden exhibir fuerte acción antioxidante por las lipoproteínas, proteínas acarreadoras de lípidos dentro del organismo. En estudios realizados se encontró que ciertos flavonoides funcionaban como potentes inhibidores de la modificación de las lipoproteínas de baja densidad. La acción de los flavonoides fue la de inhibir la generación de hidroxiperóxidos y proteger al alfa tocoferol, el mayor antioxidante lipolítico presente en lipoproteínas.

4.2.9. Propiedades antinutrimientales de los fenoles.

No obstante sus propiedades benéficas algunos otros pueden inhibir la acción de las amilasas que catalizan la hidrólisis del almidón, de las fosforilasas que intervienen en el metabolismo

del almidón, de algunas enzimas proteolíticas del tracto digestivo. También algunos polifenoles tienen capacidad para formar complejos con los almidones y de esa forma alteran la digestión de este compuesto (Stinch, 1991).

Diversos estudios han remarcado los efectos mutagénicos de los fenoles. A nivel celular, varios fenoles simples podrían inducir la aberración cromosoma/cromatida e intercambio de cromatidas hermanas. Esta actividad está fuertemente influida por factores moduladores, como son los metales de transición, como el Manganeseo, Cobre y el Fierro; y las enzimas catalasa y peroxidasa (Chung y col., 1998).

Los ácidos tánicos, al producir necrosis hepática en humanos y en animales; ocasionan un rompimiento significativo de polirribosomas en el hígado de ratón e inhiben la incorporación de aminoácidos a las proteínas de las células hepáticas. Los taninos se unen a las proteínas epiteliales y causan su desnaturalización con lo cual se facilita su penetración a través de las células superficiales e inducir el daño al hígado (Chung y col., 1998).

Los compuestos fenólicos como los taninos que forman fuertes complejos con proteínas, almidones y enzimas digestivas; reducen el valor nutritivo de los alimentos además de afectar la utilización de vitaminas y minerales. La ingestión de altos niveles de taninos puede causar gastroenteritis y congestión de las paredes intestinales en ratas (Chung y col., 1998).

Los fenoles pueden formar puentes de hidrógeno y reaccionar con los aminoácidos, de proteínas funcionales y estructurales, formando complejos que ocasionan una reducción de la absorción de la proteína, también se puede presentar un incremento en la actividad de la lipasa en los sistemas digestivos de ratas (Friedman, 1997).

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 substratos (por ejemplo las antocianinas) se oxidan en reacciones catalizadas por fenolasas, como polifenol oxidasa o peroxidasa (Hanson y Havir, 1979).

4.3. Importancia de la jícama.

Actualmente la jícama se cultiva en México, Brasil, Estados Unidos (Florida y Hawai), China, India, Indonesia, Filipinas y Nigeria, pero casi en todos los casos se trata de un cultivo subexplotado (Casanueva, 1995).

En México, la jícama es un cultivo importante por superficie cosechada y normalmente se encuentra dentro de las estadísticas de los primeros quince cultivos hortícolas, entre las diferentes hortalizas cultivadas normalmente ocupa un décimo cuarto lugar por superficie cosechada y décimo primero por producción obtenida (González, 1996).

El cultivo de jícama en la República Mexicana se encuentra ampliamente distribuida bajo diferentes sistemas de producción, adquiriendo cada vez mayor importancia debido al creciente incremento en las exportaciones realizadas principalmente a los Estados Unidos de Norteamérica, Guanajuato exportó en 1991 a los Estados Unidos un total de 13,400 ton/año con un ingreso aproximado de 2.7 millones de dólares (SAGAR, 1991; Heredia Zepeda y Heredia-García, 1984).

En el aspecto socioeconómico, este cultivo resulta importante porque 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 el 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). Este proceso de diversificación agrícola facilita un mejor uso potencial del recurso del suelo y por ende

aumenta las posibilidades de una mejor base alimentaria (Morera, 1994).

En México la zona jícamera está dispuesta a lo largo del eje Neovolcánico, en donde las condiciones de temperatura, humedad y fotoperíodo, promueven la máxima floración y calidad de las raíces (Bustamante, 1989). Se distinguen tres áreas principales de cultivo: Guanajuato y la región del Bajío en donde la jícama se siembra desde antes de la conquista española (Heredia, 1996) y su cosecha ocurre durante el otoño; Morelos, donde la cosecha se realiza en los meses de invierno y la región de Nayarit en donde la jícama es cosechada durante los meses de primavera (Cantwell y col., 1992).

En el cuadro 4 se muestran a los cuatro principales estados productores de jícama en el país, los cuales aportaron el 86.3% del total de la producción.

El Estado de Guanajuato ocupa el segundo lugar como productor (dedicándose a su cultivo personas de escasos recursos económicos) y exportador de jícama en el país, después de Nayarit, con una superficie aproximada de 500 ha, donde se obtiene un rendimiento comercial de 40 ton/ha en promedio (Heredia, 1996).

No obstante que la jícama es un cultivo rústico, no requiere fertilizantes y que presenta pocos problemas con plagas y enfermedades, este cultivo desarrolla mejor en suelos ligeros, como los arenosos o areno-limosos que retienen poca humedad, en los que es importante dar riegos frecuentes (Heredia, 1996).

4.4. Usos.

Xícamatl (raíz acuosa de ombligo), fue el nombre que le dieron los aztecas, “catzotl” (raíz que mana jugo) el que le otorgaron los mayas. El uso de la jícama en México es variado, como tubérculo fresco cortado en diferentes formas y tamaños, al cual se le agrega jugo de limón, sal y chile, como vegetal cortado en rodajas es usado en varios platillos como ensaladas, también es cocinado para la preparación de sopas combinado con otros vegetales,

Cuadro 4. Principales estados productores de jícama en el país.

Estado	Volumen de Producción (miles de toneladas)	% Producción
Nayarit	26	26
Morelos	22	22.5
Guanajuato	29	20.5
Michoacán	17	17.3

Fuente: Centro de Estadística Agropecuaria, 1996.

cortada en rodajas o en cubos se conserva en vinagre y es consumida como botana (Sørensen, 1996). 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).

La jícama de leche es más recomendable para prepararla hervida o cocida ya que tienen la capacidad de absorber salsas sin suavizarlas (Casanueva, 1995). En algunos países, las raíces se hierven y se consumen como sopa o cocidas como cualquier otra verdura, con la ventaja de que, su textura crujiente se conserva aún después de la cocción. En Filipinas, por ejemplo, es uno de los ingredientes favoritos para la preparación de “rollos de huevo con verduras frescas”, preparación conocida localmente como “lumpiang sariwa” (Casanueva, 1995).

4.5. Productos mínimamente procesados.

Los productos mínimamente procesados también llamados ligeramente procesados, parcialmente procesados, procesados frescos y precortados (Cantwell, 1998a) o cuarta gama (Romojaro y col., 1996), son frutas y hortalizas las cuales han sido preparadas para uso inmediato en la industria de servicio de alimentos o el consumidor (Cantwell, 1998a) generalmente, estos productos están acondicionados en bolsas de películas plásticas y conservados a temperaturas inferiores a 10°C, con una vida útil que oscila entre 7 y 10 días (Romojaro y col., 1996). El sucesivo incremento en los mercados de Europa y Estados Unidos de los productos mínimamente procesados se ha visto favorecido por la modificación de las costumbres socioeconómicas de la población. Cada vez más, el consumidor demanda dietas constituidas por nutrimentos procedentes de productos frescos y naturales (no procesados); así mismo, la modificación de los hábitos alimentarios y concretamente, la disminución del tiempo destinado por el consumidor para la preparación de las comidas, han contribuido al incremento de la demanda de productos mínimamente procesados (Romojaro y col., 1996).

Las operaciones que involucran un procesado 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). Es por esta razón, que la aplicación de esta tecnología en el procesamiento de jicama podría ser una herramienta para diversificar la comercialización de este producto y aumentar su valor agregado.

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 y col., 1996).

Entre las ventajas potenciales que los productos mínimamente procesados ofrecen al consumidor se pueden mencionar: la promoción al acceso de 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 al consumidor (Cantwell, 1998a).

4.5.1. 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.

4.5.2. 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 sólo 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 formar compuestos coloreados y con ello el oscurecimiento del tejido (Saltveit, 1998; Brecht, 1995).

4.5.2.1. 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).

4.5.2.2. 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 respuestas de interés son:

4.5.2.3. 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 Havar, 1979). La correlación de síntesis de fenoles y cambios de color han sido descritas en varios trabajos. Hyodo y col. (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 y col. (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 por 15 a 0.5 por 1 cm. Este incremento de la actividad de PAL se correlacionó con un mayor oscurecimiento.

4.5.2.4. Cicatrización de heridas.

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 la papa, la yuca, camote y zanahorias (Kolattukudy, 1984).

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 con 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).

4.5.3. Efecto de la baja temperatura.

Los productos mínimamente procesados son mucho más perecederos que los productos intactos debido a que están sujetos a estrés físico severo, causado por el pelado y el cortado, 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 y col., 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 la calidad en los productos precortados.

Las razones por las cuales la baja temperatura disminuye la velocidad de deterioro de todo

tejido viviente son las siguientes:

4.5.3.1. Reducción de la velocidad metabólica.

Incluyendo la actividad enzimática, 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 y col. (1978), encontraron que la actividad de la fenilalanina amonio liasa, disminuyó al disminuir la temperatura; en tejido de lechuga, almacenada por 8 días a 12.5 y 0.5°C, la actividad fue de 0.7 unidades y 0.15 en ambas temperaturas respectivamente.

4.5.3.2. Prevención o reducción del desarrollo de flora microbiana.

Para su desarrollo los microorganismos requieren de agua y nutrimentos, los cuales están presentes en los productos mínimamente procesados; la temperatura y 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 los microorganismos psicrotófos los cuales se desarrollan a bajas temperaturas, como *Listeria monocytogenes* que se desarrolla en espárragos sin ningún signo asociado a la pudrición (Berrang y col., 1989).

4.5.3.3. Disminución de la pérdida de agua.

La pérdida de agua se da como resultado de un gradiente de presión de vapor de agua entre la atmósfera saturada interna (dentro de los espacios intracelulares) 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; el cual es gobernado por la temperatura y humedad relativa.

4.6. Compuestos fenólicos.

Además de los metabolitos primarios comunes en las plantas; se distinguen numerosos metabolitos secundarios, los cuales pertenecen a diversos grupos químicos. Los compuestos fenólicos son un amplio grupo de sustancias que se caracterizan por tener un anillo aromático con al menos un grupo hidroxilo (OH). Su nombre se deriva del compuesto más simple de ellos: el fenol, por lo que también son conocidos como fenoles. Están presentes en todos los tejidos de plantas y frecuentemente constituyen el grupo más abundante de los metabolitos secundarios en frutas (Macheix y col., 1990).

Los fenoles se forman a partir del fosfoenolpiruvato y eritrosa 4-fosfato a través del ácido shiquímico, para dar lugar al aminoácido aromático fenilalanina, que es un intermediario central de la síntesis de los fenoles, el cual es desaminado e hidroxilado en la posición para del anillo fenólico, producido entre el ácido p-hidroxicinámico (Stinch, 1991).

4.6.1. Papel biológico de los compuestos fenólicos.

El papel biológico preciso de la mayoría de los compuestos fenólicos en las plantas no ha sido determinado aún; sin embargo, se han relacionado con el desarrollo de pigmentos, color y sabor. Algunos fenoles se han identificado como agentes alelopáticos, agentes antifúngicos o inhibidores de la formación de semilla (Kays, 1991).

Por otra parte, se ha establecido una relación entre el desarrollo de una planta en condiciones de estrés y la producción de compuestos fenólicos específicos. Algunos de estos fenoles son clasificados como fitoalexinas, ya que se sintetizan en respuesta a un ataque de patógenos. Ejemplos de ellos son las isoflavonas, los isoflavonoides, estibenos, soralenos, cumarinas, furanocumarinas, flavonoles y auronas. Los niveles de estos compuestos se

incrementan alrededor del sitio de infección, hasta alcanzar concentraciones tóxicas para el microorganismo (Dixon y Paiva, 1995).

Varios fenilpropanoides, las cumarinas por ejemplo, son sintetizados como respuesta al ataque de herbívoros, ya que en altas concentraciones son potencialmente tóxicos para ellos (Dixon y Paiva, 1995).

El daño mecánico induce la síntesis de ácido clorogénico, esteres del alquil-ferulato y fenoles asociados a la pared celular, los cuales pueden actuar directamente como compuestos de defensa o bien, servir como precursores en la síntesis de ligninas y suberinas (Dixon y Paiva, 1995).

La presencia de antocianinas y flavonas se incrementa como respuesta a una exposición a altos niveles de luz visible. Es a través de estos compuestos que se reduce la cantidad de luz que llega hasta las células fotosintéticas. La radiación ultravioleta induce la síntesis de flavonoides y sinapatos en *Arabidopsis* e isoflavonoides y soralenos en otras especies. Los niveles de antocianinas también se incrementan después de un estrés por frío o de un estrés nutricional (especialmente por limitación del fosfato), pero las razones de este incremento no se han aclarado (Dixon y Paiva, 1995).

Los fenoles son compuestos sintetizados por las plantas durante el estrés, los cuales tienen un carácter antioxidante. La alteración en la actividad enzimática que se presenta en el daño por frío, origina la acumulación de especies químicas con alto poder oxidativo que se produce especialmente en el sistema de transporte de electrones en mitocondria, membrana plasmática y cloroplastos. Los fenoles protegen al tejido del daño durante el estrés oxidativo conformando una efectiva defensa contra el ataque de los radicales libres. De ésta manera la pérdida nutrimental es mínima (Lyonin, 1987).

Los fenoles representan uno de los grupos más abundantes de compuestos antioxidantes encontrados en la naturaleza, son importantes en la fisiología poscosecha por el papel que

desempeñan en el sabor y el color. En ciertos frutos inmaduros se presenta cierta astringencia cuando la fruta entra en el proceso de maduración esta astringencia disminuye debido a la polimerización de taninos existentes.

Una importante respuesta de los fenoles es el oscurecimiento de productos que sufren daño en el tejido. Cuando esto llega a ocurrir los constituyentes fenólicos son oxidados para producir un compuesto de quinona que se polimeriza formando pigmentos oscuros (melaninas). En este grupo se incluyen: los flavonoides, ligninas, la hormona ácido abscísico, los aminoácidos tirosina y dihidroxifenilalanina (DOPA), coenzima Q, taninos y numerosos productos terminales del metabolismo (Kays, 1991).

Los compuestos fenólicos le confieren resistencia fitopatogénica al vegetal ya que inhiben el crecimiento bacteriano, debido a la capacidad de inhibir enzimas que degradan la pared celular, y por presentarse como precursores de barreras físicas (Friedman, 1997).

La enzima que cataliza las reacciones de oscurecimiento de compuestos fenólicos es la enzima Polifenol Oxidasa (PPO), que transforma los fenoles a quinonas seguida por la transformación de las quinonas a pigmentos oscuros. Este fenómeno generalmente ocurre en condiciones de estrés de la planta, en donde al perderse la integridad de las membranas en las células, los compuestos fenólicos compartimentalizados en las vacuolas, pueden entrar en contacto con la enzima PPO del citoplasma, dando lugar a la oxidación, polimerización y formación de los pigmentos oscuros. Estos compuestos ocasionan el deterioro de la apariencia del producto, de su sabor, del color y de las cualidades nutrimentales (Friedman, 1997).

La oxidación de productos de compuestos fenólicos actúan como defensa de la planta contra los agentes patógenos. Por otra parte han mostrado ser antimutagénicas, anticarcinogénicas, antiglicémicas y propiedades antioxidativas benéficas. Estas propiedades pueden ser utilizadas en la prevención de la rancidez y el desarrollo de los ingredientes de los alimentos que promocionan la salud, aunque también pueden afectar negativamente en las cualidades

nutrimentales (Stinch, 1991).

4.7. Tratamientos térmicos.

El pardeamiento enzimático de vegetales se ha relacionado con el incremento de compuestos fenólicos y con la oxidación de los mismos (Martínez-Téllez y Lafuente, 1997). El almacenamiento a bajas temperaturas es un procedimiento general para conservar frutas y hortalizas, pero su aplicación especialmente en frutos tropicales induce a daño por frío. Para resolver este problema se recurre a métodos que alivian este problema, como lo son los tratamientos térmicos, los cuales incrementan la tolerancia a las bajas temperaturas (Lurie y Klein, 1991).

El procesado térmico de los alimentos es uno de los métodos más utilizados por el hombre (Lund, 1975; Frazier y Westhoff, 1978), entre sus muchas aplicaciones, se ha utilizado en productos hortofrutícolas como sistema de reducir los patógenos de frutas y trozos pelados de raíces frescas, para disminuir la microflora endógena de las frutas, reducir los niveles de microorganismos y para disminuir parcialmente la actividad de la polifenol oxidasa (Wiley, 1997), con el propósito de conservar por más tiempo las características sensoriales y el valor nutricional del alimento; la estabilidad del alimento se aumenta por disminución considerable de la carga microbiana y de la actividad catalítica de las enzimas en el alimento. Sin embargo, también provoca cambios en el valor nutritivo, obteniéndose en ocasiones productos con menor valor nutritivo, pero en ocasiones, con mejor calidad sensorial, siempre y cuando la aplicación del tratamiento térmico no exceda el tiempo y la temperatura más adecuados para el material sometido al proceso (Lund, 1975; Frazier y Westhoff, 1978).

El uso de tratamientos térmicos, tales como agua caliente, vapor y aire están aprobados con fines cuarentenarios en algunas frutas y hortalizas, los cuales se establece en el manual de protección y cuarentena de plantas del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica (USDA) y el servicio de Inspección para la Sanidad de Animales y Plantas (APHIS) (Báez-Sañudo y col., 1997).

Los tratamientos térmicos previos al almacenamiento a bajas temperaturas, pueden incrementar la tolerancia al daño por frío de diferentes especies de plantas. Los mecanismos involucrados en el desarrollo del daño por frío no están esclarecidos (Martínez-Téllez y Lafuente, 1997).

4.8. 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.

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 y col., 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 y col. (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, 1-2 semanas a 5°C, y entre 2 y 3 semanas a 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 y col., 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.

También estos estudios mostraron que las 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 almacenadas a 13°C su calidad se mantuvo durante 5 meses (Mercado-Silva y col., 1998).

Como producto procesado esta raíz ha sido poco estudiada y hay escasos reportes al respecto, la deshidratación osmótica y congelación para conservarla (Juárez-Goiz, 1994), la obtención de jugo de jícama por ultrafiltración (Juárez y Paredes-López, 1994) y el efecto de la temperatura, composición atmosférica, geometría y variedad en la conservación de jícama mínimamente procesada (Aquino-Bolaños, 1998), son los pocos trabajos reportados. Sin embargo, esta autora no varió la relación área/volumen de las piezas con lo cual permitiría saber si el tamaño de área dañada respecto del volumen tiene algún efecto en la conservación de la calidad. Así como tampoco se han realizado estudios respecto del control del oscurecimiento del producto por tratamientos térmicos.

De acuerdo a los antecedentes anteriormente expuestos este trabajo plantea conocer el efecto de la temperatura, la diferente relación área/volumen y los tratamientos térmicos en la calidad de jícama mínimamente procesada.

5.0. HIPÓTESIS

La figura geométrica, la temperatura de refrigeración y los pretratamientos térmicos afectan la calidad general de la jícama mínimamente procesada durante su almacenamiento.

6.0. OBJETIVOS

6.1. OBJETIVO GENERAL

Definir el efecto de la temperatura y la relación área/volumen de las diferentes formas geométricas, así como la aplicación de tratamiento hidrotérmico en la conservación de jícama mínimamente procesada.

6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A través de la cuantificación de la calidad visual, firmeza, color, azúcares y fenoles, se planteó alcanzar los siguientes objetivos específicos.

1. Evaluar el efecto de la temperatura de 2, 5 y 10°C, sobre la calidad de la jícama mínimamente procesada.
2. Determinar si las distintas relaciones área/volumen de las formas geométricas tiene efecto sobre la calidad general de la jícama mínimamente procesada.
3. Evaluar el efecto de los tratamientos térmicos para reducir los cambios de color en jícama mínimamente procesada.

7.0. MATERIALES Y MÉTODOS.

7.1. Origen de las muestras.

Dada la extensión del trabajo, realizado el origen de las muestras no fue único y las distintas etapas se llevaron a cabo con materiales distintos.

Para estudiar el efecto de la temperatura sobre la calidad de la jícama mínimamente procesada, se utilizaron jícamas de la especie *P. erosus* variedad cristalina, las cuales fueron sembradas en San Juan de la Vega, Celaya, Gto; y fueron cosechadas manualmente en Octubre de 1998.

El efecto del tratamiento térmico, se estudió en jícamas de la especie *P. erosus* variedad cristalina, adquiridas en la Central de Abastos de la ciudad de Querétaro, provenientes de los estados de Morelos y Michoacán.

Se seleccionaron aquellas raíces que estuvieran libres de defectos visuales, como daño mecánico y pudriciones, se transportaron en cajas de plástico. Se llevaron al Laboratorio de Fisiología y Bioquímica de Frutas y Hortalizas del Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos de la Facultad de Química.

7.2. Preparación de jícama mínimamente procesada.

Todo el material utilizado en la preparación de las muestras se sanitizó con una solución de hipoclorito de sodio de 100 ppm de cloro libre (pH 7) y las raíces fueron lavadas con agua potable, se cortaron las partes terminales dejando una pieza ecuatorial de 5 cm de altura aproximadamente. Utilizando un sacabocados de acero inoxidable, se obtuvieron cilindros de 1.8 cm de diámetro, éstos se uniformizaron a 5, 2 y 0.5 cm de altura; 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.

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) al final de este tiempo, las piezas fueron sacadas de la solución y el exceso de agua se removió con tela absorbente (manta de cielo) (Figura 1).

7.3. Efecto de la temperatura y la relación área/volumen sobre la calidad de jícama mínimamente procesada.

Nueve frascos de vidrio, por cada temperatura y figura geométrica estudiada, conteniendo 3 piezas de jícama cada uno, fueron colocados en una jarra de 15 lt, la que estuvo conectada a un flujo de aire de 30 lt/hr, a temperaturas de 2, 5 y 10°C. En los días 4, 8 y 12 para 10°C y en los días 8, 12 y 16 para 5 y 2°C, se realizaron evaluaciones de tres frascos para calidad visual, oscurecimiento, deshidratación de la superficie, pudrición macroscópica, sabor, color, firmeza, azúcares y fenoles (figura 1).

7.4. Estudio del efecto por tratamiento térmico sobre la reducción de oscurecimiento de la jícama mínimamente procesada.

Se realizó un estudio preliminar del efecto del tratamiento térmico, donde cilindros de jícama fueron sometidos a tratamiento térmico en agua en un baño maría HAAKE DC1 a 45°C, 50°C, 55°C y 60°C; por 2, 4 y 6 minutos. Las muestras fueron enfriadas y almacenadas a 10°C realizándose evaluaciones de color y textura los días 0 y 6 (Figura 2). Con estos datos se procedió a definir el tratamiento más adecuado para aplicar a los lotes en estudio de conservación.

Metodología general

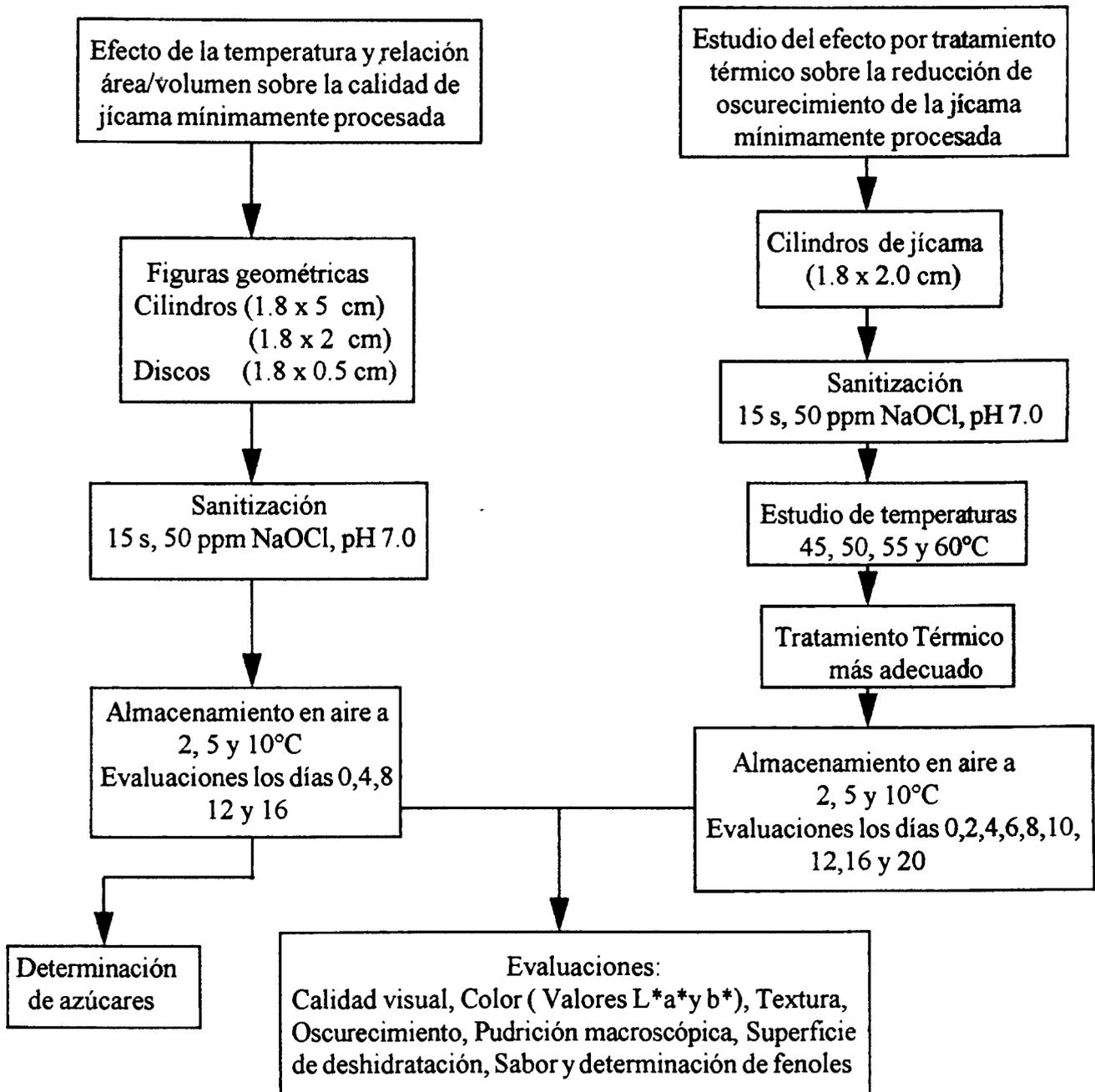


Figura 1. Estrategia experimental de los tratamientos y análisis realizados en la investigación.

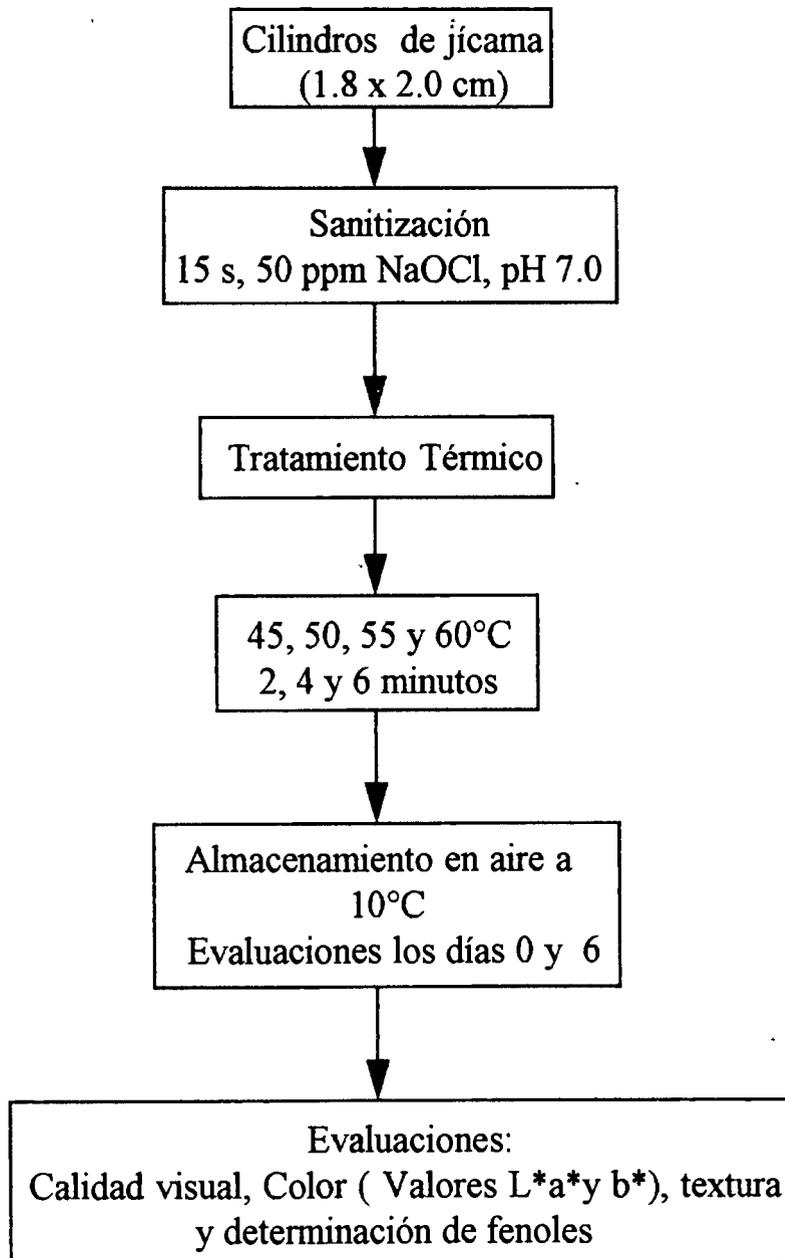


Figura 2. Establecimiento de las condiciones del tratamiento térmico.

Los cilindros de jícama fueron tratados bajo las condiciones más adecuadas. Posteriormente se colocaron 5 cilindros en frasco de vidrio de 125 cc; como control, se colocaron cinco cilindros en otro frasco de iguales características. Posteriormente se colocaron en frascos de vidrio de 15 litros y se conectaron a un flujo de aire humidificado de 30 lt/hr a temperaturas de 2, 5 y 10°C. En los días 2, 4, 8 y 10 para 10°C y en los días 8, 12, 16 y 20 para 2 y 5°C, se realizaron evaluaciones en dos frascos para cada tratamiento, para calidad visual, oscurecimiento, deshidratación de la superficie, pudrición macroscópica, sabor, color, firmeza y fenoles (figura 1).

7.5. Métodos de análisis.

7.5.1. Evaluación de la calidad general.

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 las figuras geométricas se plantearon tomando como referencia las propuestas por Kader y col. (1973), y los estudios realizados por Cantwell y col. (1992), Mercado-Silva y col. (1998) y Aquino-Bolaños (1998), para jícama mínimamente procesada. Esta calidad se evaluó a través de los siguientes factores de calidad y siguiendo las escalas correspondientes:

7.5.1.1. 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= Rechazada, extremadamente pobre.

7.5.1.2. Oscurecimiento. Se calificó en una escala de 1 a 5, donde 1= Ninguno o no se presenta, 2= Leve, 3= Moderado, 4= Moderadamente severo y 5= Severo, muy oscuro.

7.5.1.3. Deshidratación de 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).

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

7.5.1.5. Sabor. Se calificó 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.

7.5.2. Color.

Para la determinación de esta variable se utilizó un Colorímetro Minolta modelo 2002, utilizándose un iluminante C y observador a 2°. McGuire (1992), reportó que puede obtenerse una forma más adecuada para medir el color, con el cálculo del ángulo de matiz y la cromaticidad, estos dos parámetros son índices análogos a la intensidad y saturación de color. Los parámetros son calculados a partir de a^* y b^* .

El ángulo de matiz se calculó por medio de la siguiente ecuación: $h = \tan^{-1} (b^*/a^*)$. Las coordenadas a^* y b^* ubican el color en el espacio de color, a^* con valores positivos dan una coloración rojiza, a^* con valores negativos expresan una coloración verde, b^* con valores positivos expresan tonos amarillos y b^* con valores negativos expresan tonos azules. De esta forma el ángulo de matiz nos indica el ángulo correspondiente al eje en la que esta ubicado el color correspondiente a la muestra.

La cromaticidad es la intensidad del color, se obtuvo a través de la siguiente ecuación: $C=(a^{*2}+ b^{*2})^{1/2}$. Por lo que este parámetro nos indica la magnitud del color o del vector que esta colocado en el ángulo de matiz determinado. La luminosidad (L^*) nos indica la obscuridad a claridad del color, tiene una escala de 0 (negro) a 100 (blanco). El índice de blancura se determinó a través de la ecuación $WI= 100-[(100-L)^2+ a^{*2} + b^{*2}]^{1/2}$ (Bolin y Huxsoll, 1991).

7.5.3. 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 en 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 para los cilindros de 5 y 2 cm de longitud y 2 mm para los discos de 0.5 cm de longitud. Se utilizó una sonda de 5 mm de diámetro con un extremo plano.

7.5.4. Determinación de azúcares en jícama mínimamente procesada.

Se siguió el método espectrofotométrico descrito por Buysse Mercky (1993), el cual se basa en la formación de un compuesto colorido de los azúcares simples en presencia de fenol en un medio ácido leyendo la absorbancia a 490 nm.

7.5.4.1. Preparación de reactivos.

- a) Solución de fenol al 80%. Se disolvieron 4 g de fenol en 1 ml de agua.
- b) Etanol al 95%.

7.5.4.2. Extracción y cuantificación de azúcares en las muestras.

Se tomaron 2 g de pulpa y se homogeneizaron con 11 ml de etanol al 95% en un homogenizador ULTRA-TURRAX T25 y se almacenó a -20°C durante 12 hrs; pasado este tiempo, se filtró al vacío con papel Whatman No. 1, se tomó 1 ml del extracto y se diluyó 200X. Del extracto diluido se tomó 1 ml y se le adicionó 100 µl de fenol al 80%; inmediatamente después se le adicionaron 5 ml de ácido sulfúrico concentrado y se homogeneizó por 30 segundos, se incubaron los tubos en un baño de agua a 30°C por 20 minutos. Se determinó la absorbancia con un espectrofotómetro a 490 nm de longitud de

onda.

7.5.4.3. Curva de calibración.

Se preparó una solución estándar de glucosa a una concentración de 100 µg/ml, pesando 0.01 g de glucosa y diluyendo a 100 ml de agua desionizada; a partir de esta solución se preparó por duplicado tubos que contenían las siguientes concentraciones:

µg glucosa/ml	Volumen de Agua (ml)
0	1
200	0.8
400	0.6
600	0.4
800	0.2
1000	0.0

A cada tubo se adicionaron 100 µl de fenol al 80%, después se adicionan 5 ml de ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄), se incuban a 30°C durante 20 min. Se leyó la absorbancia a una longitud de onda de 490 nm.

7.5.5. Determinación de fenoles en jícama mínimamente procesada.

Se siguió el método espectrofotométrico de la vainillina modificado para taninos condensados descrito por Butler y col., (1982).

7.5.5.1. Preparación de reactivos.

Reactivo 1. Ácido clorhídrico al 80% en ácido acético glacial.

Reactivo 2. Vainillina al 1% en ácido acético glacial.

Reactivo 3. Ácido acético glacial con hasta 6% de metanol.

Reactivo 4. Ácido clorhídrico al 4% en ácido acético (solución 1 + igual volumen de ácido acético).

Reactivo 5. Mezcla de reactivo 1 y 2.

7.5.5.2. Extracción y cuantificación de fenoles en las muestras.

Se tomaron 30 g de jicama y se congelaron a $-72\text{ }^{\circ}\text{C}$ en un ultracongelador (REPCO). Posteriormente se liofilizaron en una liofilizadora VIRTIS durante 48 hrs.

Se tomaron 0.30 g de la muestra liofilizada y se le agregó 20 ml del reactivo 3. Se le aplicó reflujo para la extracción durante 20 minutos. Se atemperó la muestra (extracto) y los reactivos a 30°C . Se tomo 1 ml del extracto y se le agregó 5 ml de reactivo de vainillina; para el control se tomó 1 ml del extracto y se le agregó 5 ml del reactivo 4. Previamente los tubos se cubrieron con papel aluminio para evitar el efecto de la luz. Se incubaron en agua a 30°C durante 5 min. Se leyó la absorbancia en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 510 nm.

7.5.5.3. Curva estándar.

Solución stock de (+) catequina. Se preparó una solución de 0.25 mg/ml de (+) catequina en ácido acético glacial al 6% de metanol.

Estándar	(+)catequina(μg)	Solución stock (μl)	Ác. acético con metanol
1	0	0	1000
2	2.1	50	950
3	4.2	100	900
4	8.4	200	800
5	16.8	400	600
6	25.2	600	400
7	33.6	800	200
8	42.0	1000	0

A cada tubo se le agregó 5 ml del reactivo de vainillina (previamente los tubos se cubrieron con papel aluminio), se incubaron en agua a 30°C durante 5 min. Se leyó la absorbancia a una longitud de onda de 510 nm.

7.5.6. Métodos estadísticos.

Para cada tratamiento y tiempo se tomaron 9 muestras. El análisis estadístico de los datos se realizó empleando el paquete Statistica versión 4.3 (Statsoft, INC., 1993). En todos los casos se realizó el análisis de varianza y se utilizó la prueba de Tukey con un nivel de significancia $p \leq 0.05$ para establecer las diferencias entre las medias de los diferentes tratamientos.

8.0. RESULTADOS

8.1. Efecto de la temperatura y relación área/volumen sobre la calidad de jícama mínimamente procesada.

Las relaciones área/volumen de las figuras geométricas de jícama utilizadas en este estudio fueron 1.5, 2.11 y 5.11 cm⁻¹ para los cilindros de 5 y 2 cm de longitud y 1.8 cm de diámetro y discos de 0.5 cm de longitud y 1.8 cm de diámetro, respectivamente.

8.1.1. Cambios de la calidad visual.

La calidad visual de jícama mínimamente procesada almacenada a diferentes temperaturas se muestra en la figura 3 (así mismo en el anexo 1.1 se concentra el análisis estadístico de las muestras). Cuando se almacenaron las diferentes figuras geométricas a 2°C, se observó que la calidad visual se mantuvo durante los 8 días de almacenamiento, al día 12 la calidad disminuyó pero aún presentaron calidad buena y al día 16 presentaron calidad regular que podría ser comercializable. Las diferentes figuras geométricas almacenadas a 5 y 10°C mostraron una disminución en su calidad más pronunciada a través del tiempo de almacenamiento, al día 8 a 5°C la disminución en la calidad fue ligera presentando calidad buena; sin embargo, para el día 12 presentaron calidad por debajo de la mínima aceptable (valor de 6). A 10°C las diferentes figuras geométricas disminuyeron su calidad más rápidamente, mostrando a los 4 días de almacenamiento una calidad por debajo de la mínima aceptable (valor 6). No se encontraron diferencias en la calidad visual entre las diferentes figuras geométricas, por lo cual se considera que la temperatura fue el factor más importante para mantener la calidad visual de la jícama mínimamente procesada independientemente de la figura geométrica o relación área/volumen de las piezas (anexo 1.1).

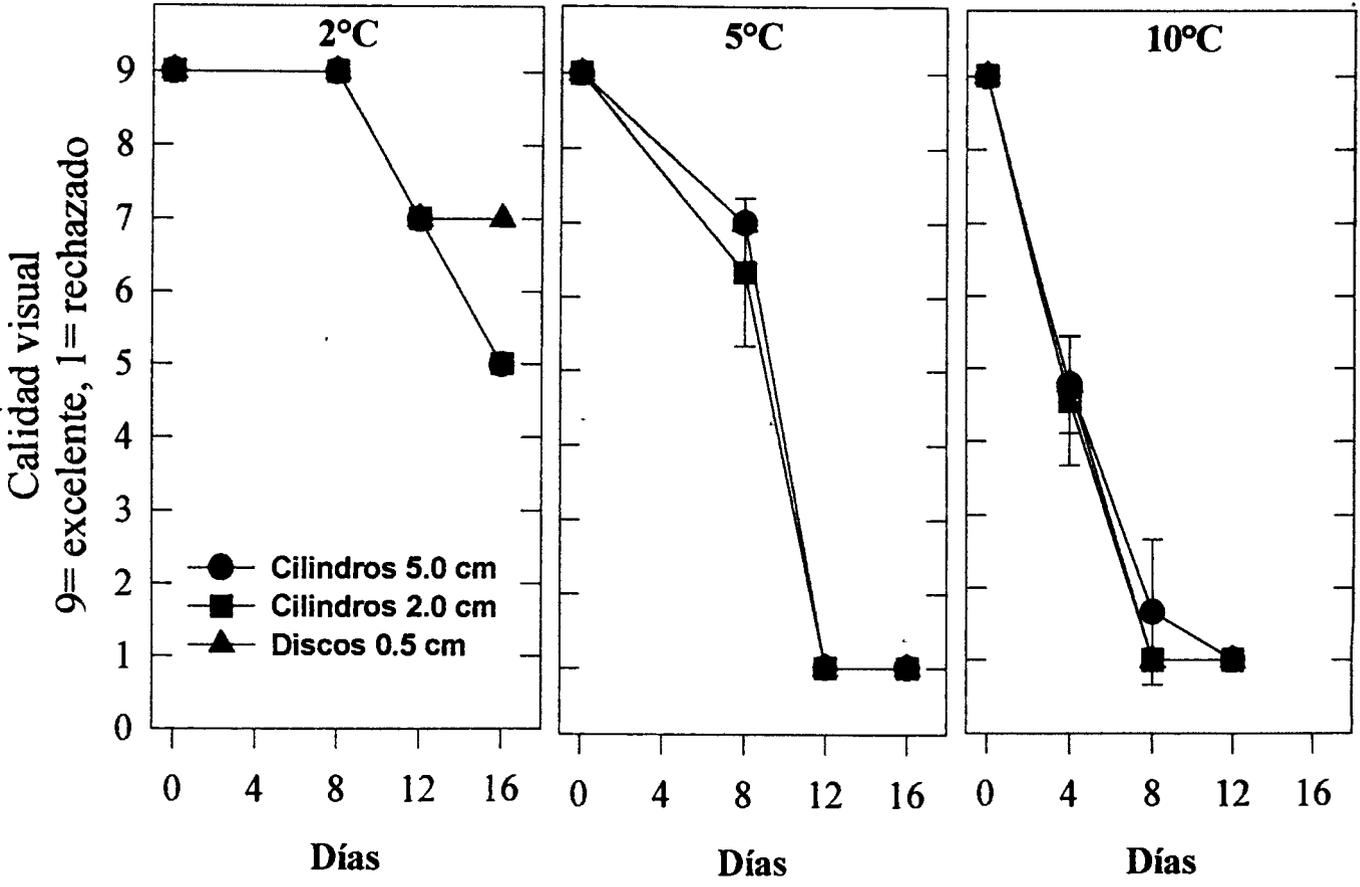


Figura 3. Cambios en la calidad visual de jícama mínimamente procesada en diferentes formas geométricas y almacenadas a diferentes temperaturas.

8.1.2. Cambios de color (visual).

No se encontraron diferencias en el oscurecimiento entre las diferentes figuras geométricas. A 2°C no se presentó oscurecimiento del tejido durante los 8 días de almacenamiento, después del día 12 las diferentes figuras geométricas mostraron un oscurecimiento ligero. El oscurecimiento en las diferentes figuras geométricas se hizo más evidente a temperaturas mayores de 2°C, a 5°C durante 8 días de almacenamiento presentaron un oscurecimiento ligero y después del día 12 el oscurecimiento fue moderado; sin embargo, a 10°C el oscurecimiento en el tejido de las diferentes figuras geométricas se hizo más evidente a partir del día 4 incrementándose a través del tiempo de almacenamiento. De igual forma que la calidad visual se considera a la temperatura como el factor más importante para mantener el color característico de la jicama mínimamente procesada e independientemente de la relación área/volumen de las piezas (figura 4). En el anexo 1.2 se muestra el análisis estadístico de los distintos tratamientos en el día 8 de almacenamiento.

8.1.3. Pudrición macroscópica.

Las diferentes figuras geométricas almacenadas a 2°C no presentaron desarrollo de microorganismos. A 5°C el crecimiento de microorganismos se presentó después de los 8 días de almacenamiento, al día 12 mostraron una ligera incidencia (5%) y al día 16 fue moderada (10%); el crecimiento de microorganismos en las diferentes figuras geométricas almacenadas a 10°C se presentó después del día 4, incrementándose en forma crítica a través del tiempo de almacenamiento (>50% de la superficie afectada) (figura 5).

8.1.4. Cambios en el sabor.

Los cambios en el sabor de las diferentes figuras geométricas se muestran en la figura 6 (y en el anexo 1.3). A 2°C se mantuvo el sabor característico durante 8 días de almacenamiento, para el día 12 los cambios en el sabor fueron ligeros, mostrando una mayor disminución en el día 16 conservando aún un sabor característico. Sin embargo, a 5°C los cambios en el

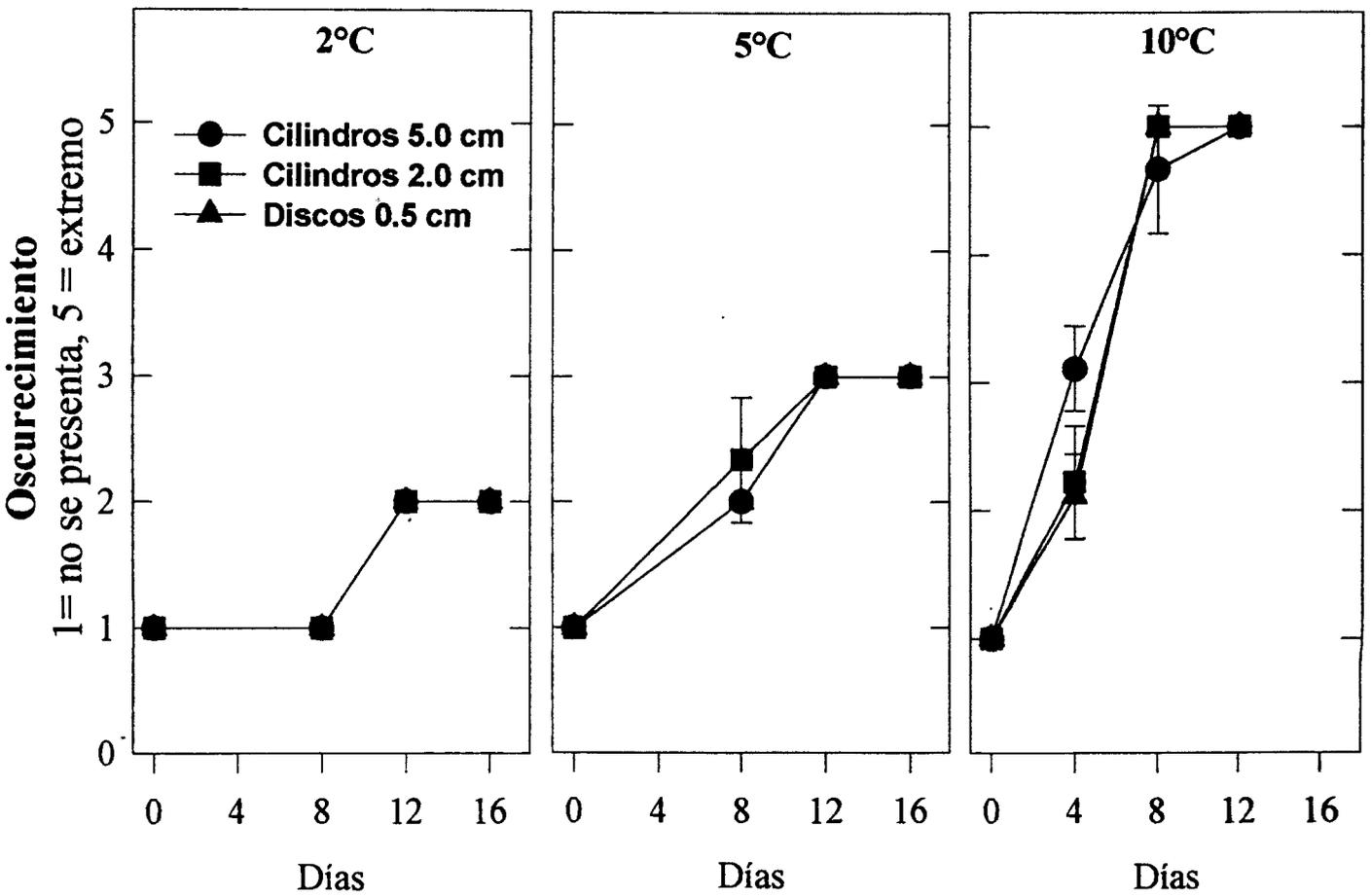


Figura 4 . Cambios en el oscurecimiento subjetivo de jícama mínimamente procesada en diferentes formas geométricas y almacenadas a diferentes temperaturas.

Pudrición macroscópica
1 = ninguna, 5 = extrema

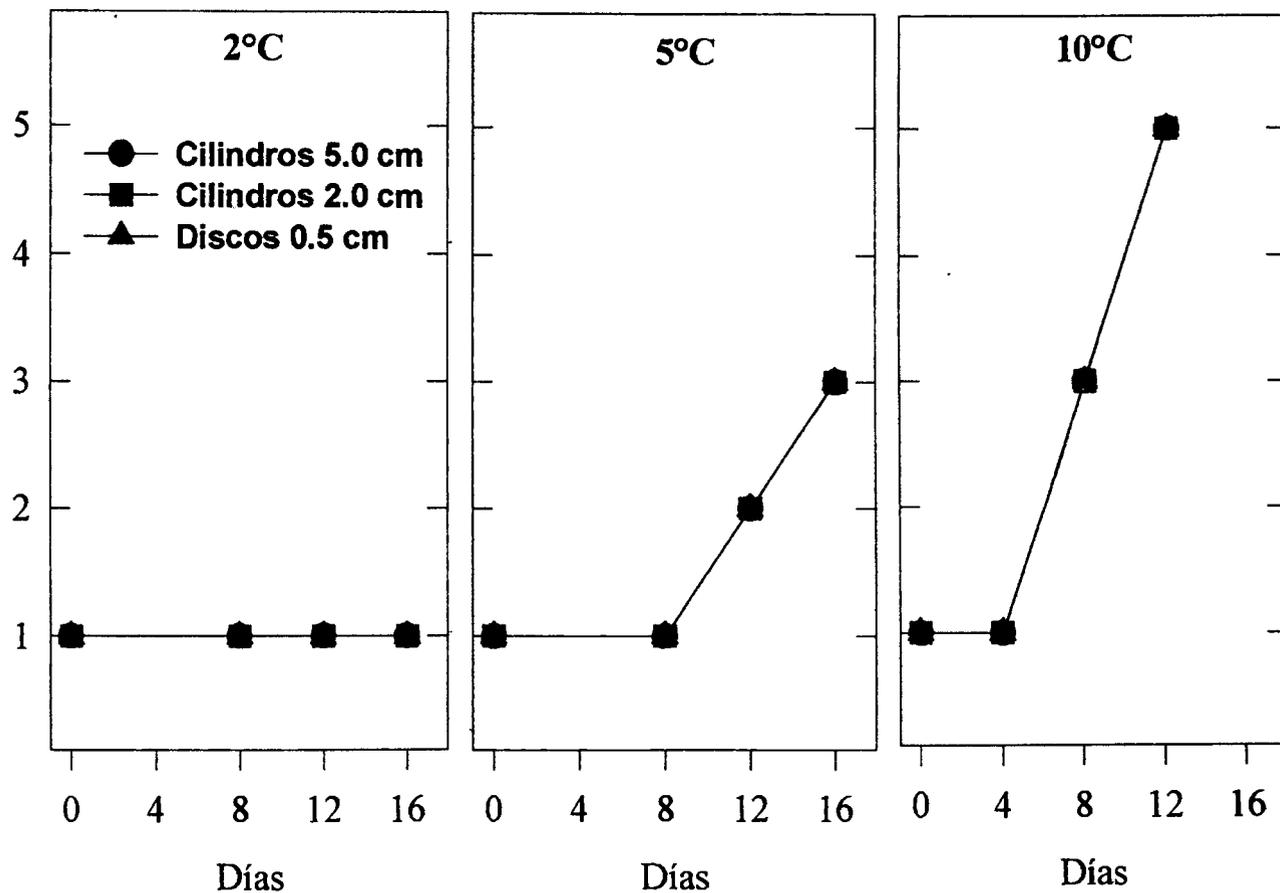


Figura 5. Manifestaciones de la pudrición macroscópica en jícama mínimamente procesada en diferentes formas geométricas y almacenadas a diferentes temperaturas.

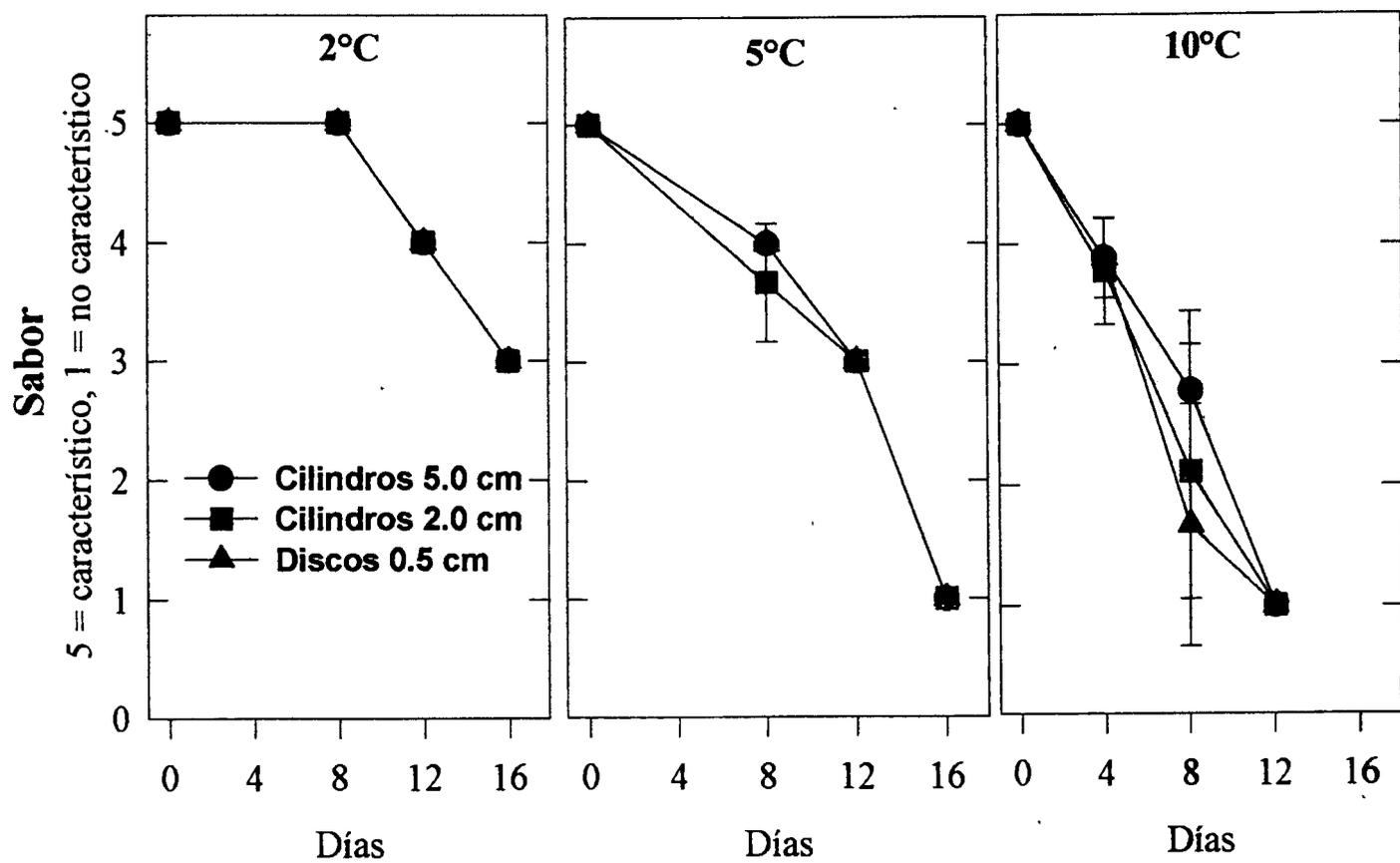


Figura 6. Evaluación de sabor de jícama mínimamente procesada en diferentes formas geométricas y almacenadas a diferentes temperaturas.

sabor fueron evidentes después de los 8 días de almacenamiento, mostrando la pérdida del sabor característico después del día 12, a 10°C los cambios en el sabor fueron evidentes a partir del día 4 de almacenamiento, presentando la pérdida del sabor característico después del día 8.

8.1.5. Cambios en la superficie de deshidratación.

Los cambios en la superficie de deshidratación se muestran en la figura 7 (en el anexo 1.4 se muestra el análisis estadístico al día 8 de almacenamiento). Las diferentes figuras geométricas almacenadas a 2 y 5°C presentaron una ligera deshidratación superficial después de los 8 días de almacenamiento; por el contrario a 10°C presentaron un incremento gradual a través del tiempo de almacenamiento, presentando al día 12 una deshidratación superficial severa (20%).

8.1.6. Cambios de textura.

El cuadro 5 y anexo 1.5 muestra el análisis estadístico de la fuerza de penetración y distancia al punto de ruptura en las diferentes figuras geométricas almacenadas a diferentes temperaturas, se puede observar que no existieron diferencias significativas importantes en cuanto a éstos parámetros para cada día de muestreo y en cada temperatura. Sin embargo, si se considera el cambio durante el tiempo de almacenamiento se observa que la distancia al punto de ruptura es más grande a medida que incrementó el tiempo de almacenamiento. Esto se interpreta como una disminución en la resistencia estructural que da al producto una textura esponjosa, observándose que esta textura fue más evidente en los cilindros de 5 cm y menor en los discos de 0.5 cm de longitud.

Superficie de deshidratación

1 = no se presenta, 5 = extrema

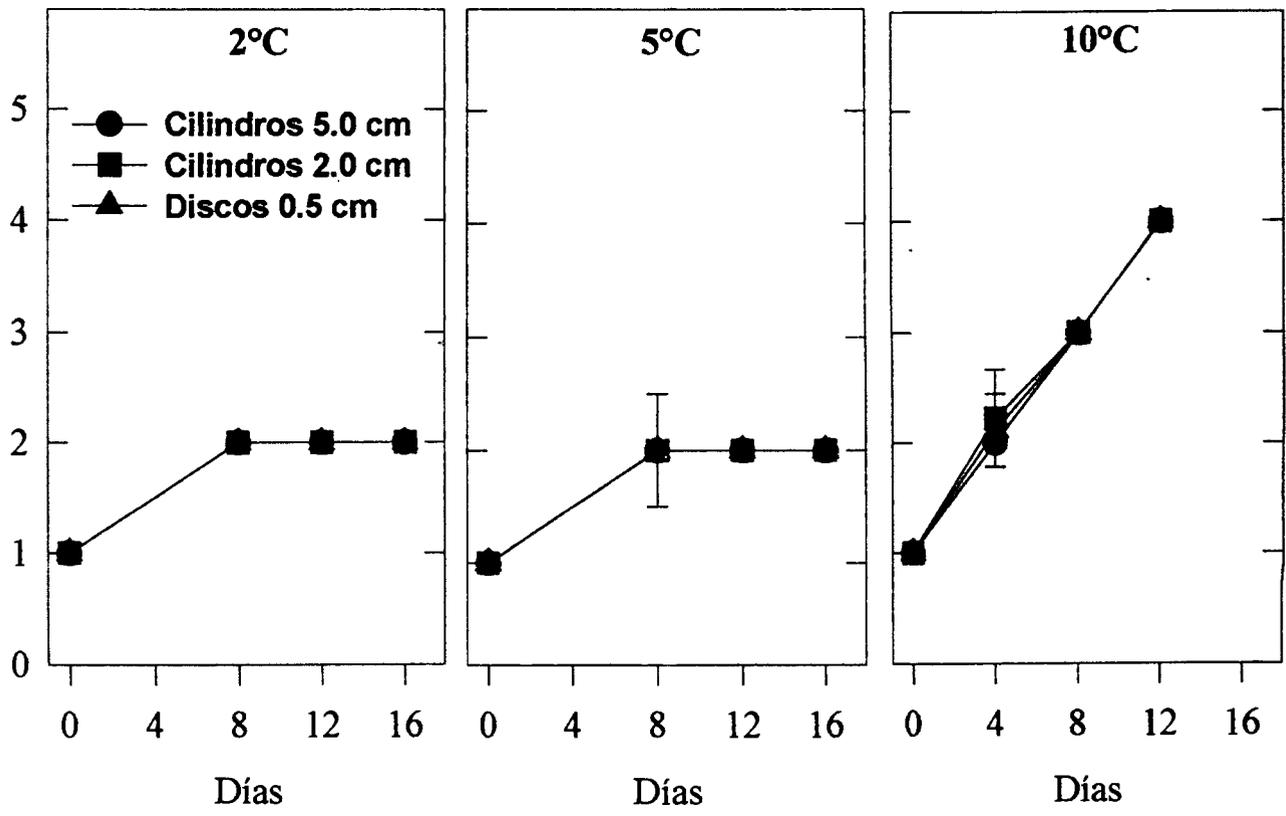


Figura 7. Cambios en la superficie de deshidratación de la jícama mínimamente procesada en diferentes formas geométricas y almacenadas a diferentes temperaturas.

Cuadro 5. Análisis estadístico los cambios de la fuerza de penetración y distancia al punto de ruptura.

Temperatura °C	Figura geométrica	Fuerza de penetración (N)				Distancia al punto de ruptura (mm)			
		4	8	12	16	4	8	12	16
10	Cilindros 5 cm	12.55a	11.40a	11.53ab		1.11a	1.33a	1.89ab	
10	Cilindros 2 cm	11.22a	12.50a	9.42a		1.00a	1.67a	1.21a	
10	Discos 0.5 cm	10.59a	11.43a	10.20ab		1.02a	1.17a	1.11a	
5	Cilindros 5 cm		12.25a	11.03ab	12.04ab		2.01bc	5.03c	5.14d
5	Cilindros 2 cm		11.49a	13.59ab	12.39		1.42ab	2.99bc	3.72c
5	Discos 0.5 cm		12.21a	10.70ab	13.62ab		1.34a	1.62ab	1.66ab
2	Cilindros 5 cm		11.88a	14.25b	15.09b		2.63c	3.81c	4.33cd
2	Cilindros 2 cm		12.85a	14.03ab	13.19ab		1.48ab	2.13ab	2.47b
2	Discos 0.5 cm		12.77a	12.37ab	10.23a		1.22a	1.33a	1.30a

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

8.1.7. Cambios objetivos en el color.

8.1.7.1. Cambios en el índice de blancura y luminosidad.

Las figuras geométricas almacenadas a 2 y 5°C mantuvieron los valores del índice de blancura a través del tiempo de almacenamiento (aproximadamente 70), no existiendo diferencias significativas entre estas dos temperaturas en los diferentes días del almacenamiento (figura 8). Muestras almacenadas a 10°C en el día 4 no presentaron cambios significativos; sin embargo, después de este periodo mostraron un decremento significativo en los valores del índice de blancura lo cual nos indica que tomaron un tono más oscuro. El parámetro de luminosidad (L) también permitió observar este comportamiento (Figura 9). En el anexo 1.6 se muestran los análisis estadísticos para el día 8 y 12 de estos parámetros.

8.1.7.2. Cambios en el ángulo de matiz.

En la figura 10 se muestran los cambios que sufrió este parámetro en las distintas temperaturas y para las diferentes figuras geométricas. La observación más importante es que a 10°C se presentó una disminución muy fuerte del ángulo de matiz conforme transcurrió el tiempo de almacenamiento, esto indicó un mayor proceso de oscurecimiento. A 5 y 2°C, los cambios en el ángulo de matiz casi no se presentaron durante el almacenamiento existiendo pocas diferencias significativas entre las diferentes figuras geométricas; los cilindros de 5 cm mostraron relativamente mayor disminución a 5°C que los cilindros de 2 cm y discos de 0.5 cm. de longitud después de 8 días. El anexo 1.7 se concentra el análisis estadístico para este parámetro en los distintos días de muestreo.

8.1.7.3. Cambios en la cromaticidad.

En forma similar al parámetro de ángulo de matiz, el valor de cromaticidad ($C=(a^2+b^2)^{1/2}$), fue influido de forma importante por la temperatura; siendo la temperatura de 10°C la que más incrementó su valor en tanto que a 5°C el incremento fue menor con una mayor

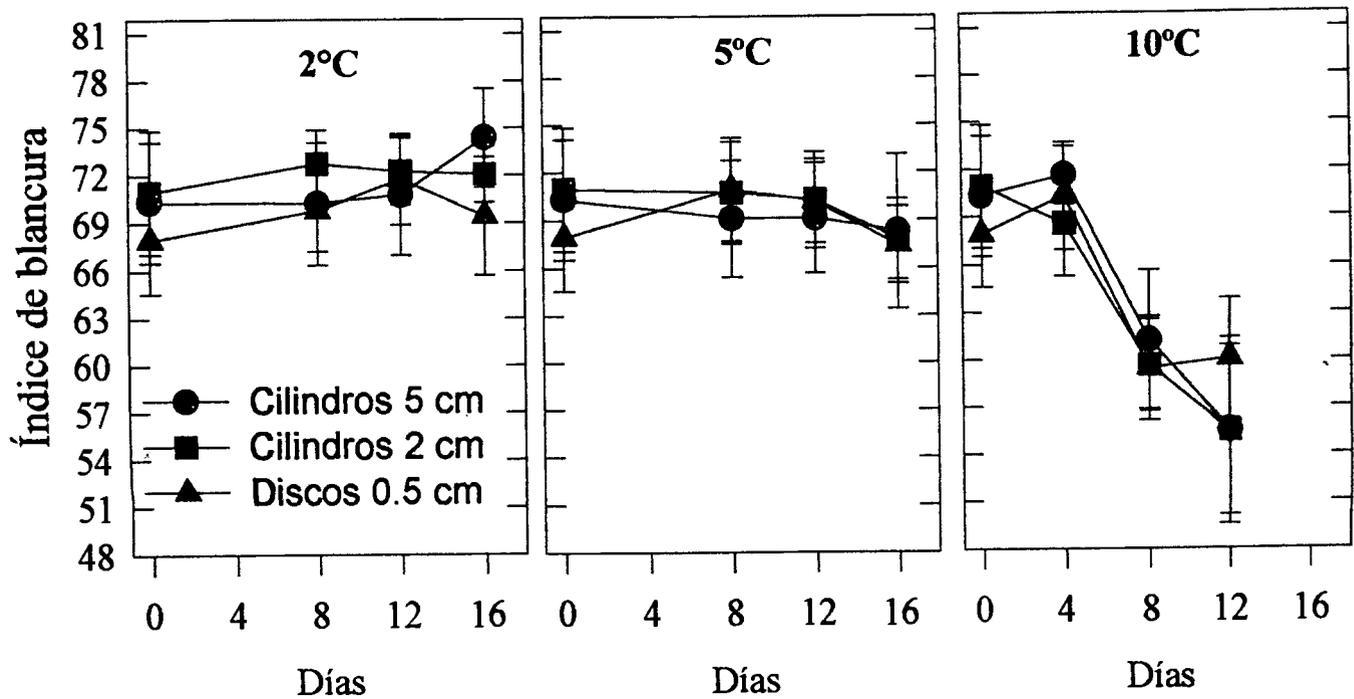


Figura 8. Cambios en el índice de blancura de jícama mínimamente procesada en diferentes formas geométricas y almacenadas a diferentes temperaturas.

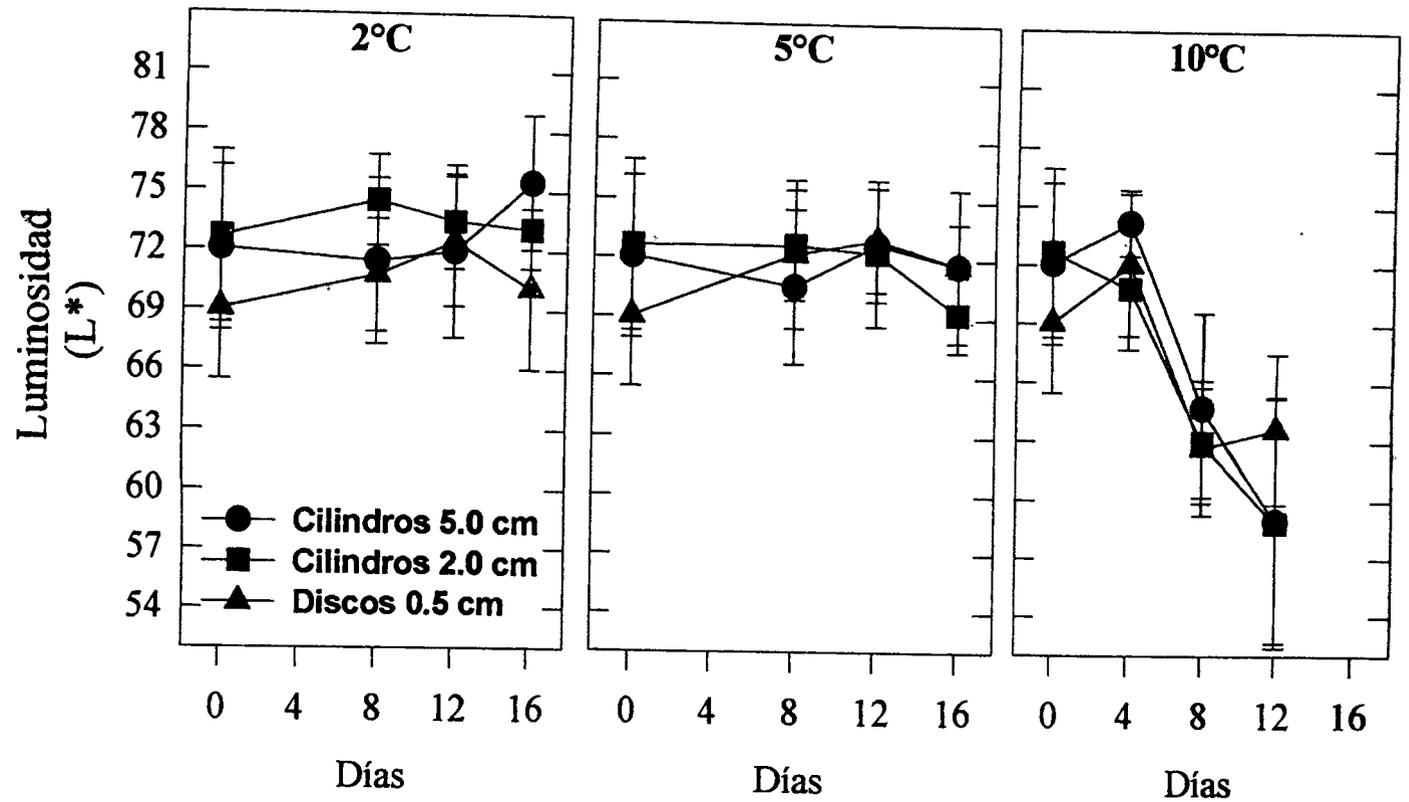


Figura 9. Cambios en la luminosidad de jícama mínimamente procesada en diferentes formas geométricas y almacenadas a diferentes temperaturas.

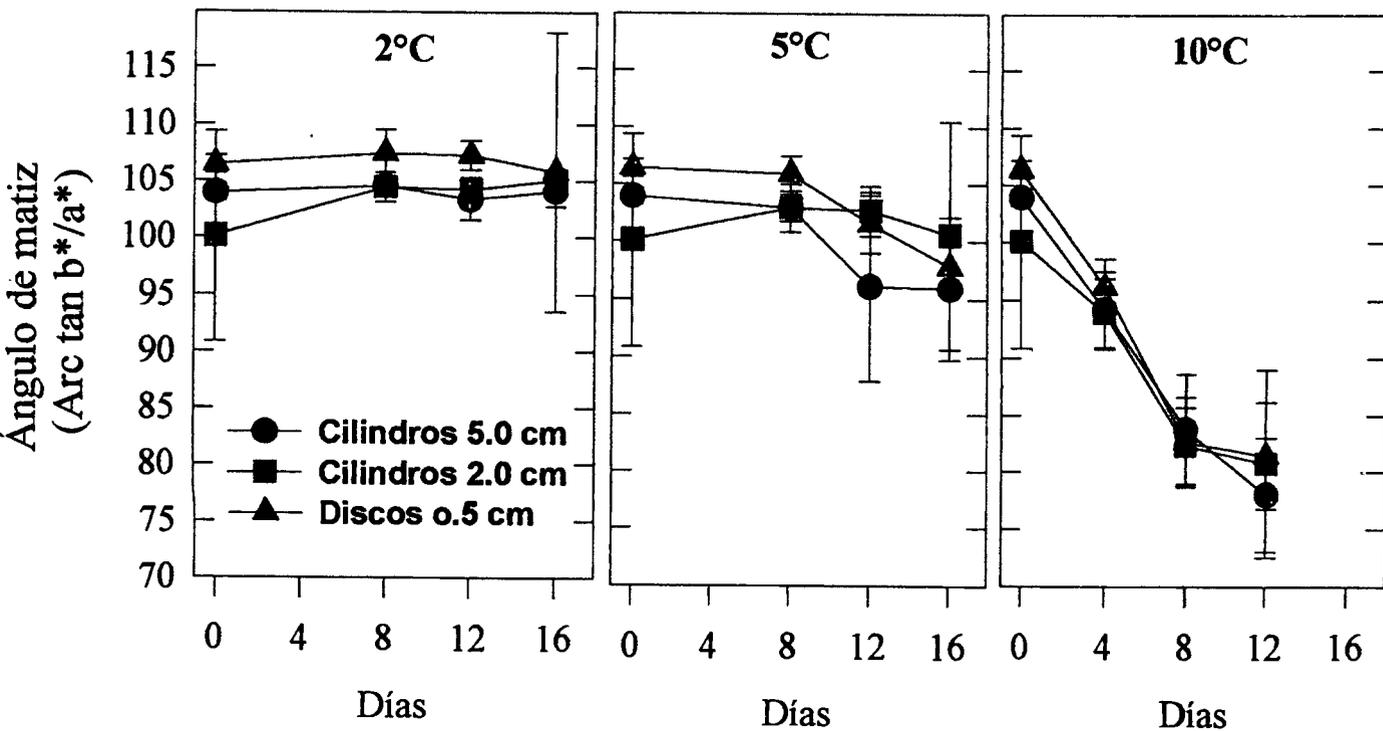


Figura 10. Cambios en el angulo de matiz de jicama mínimamente procesada en diferentes formas geométricas y almacenadas a diferentes temperaturas.

variabilidad en los datos. A 2°C los valores de cromaticidad tendieron a disminuir en las tres figuras geométricas estudiadas, esto pudiera ser debido a que se observó una cierta traslucidez en el tejido. De acuerdo con esto, también la temperatura de 2°C es la que mejor conserva las características de color de las muestras (figura 11).

8.1.8. Cambios en el contenido de azúcares.

En el anexo 1.8 se concentran los análisis estadísticos practicados a las distintas geometrías sometidas a diferentes temperaturas de conservación en los distintos periodos de almacenamiento. En la figura 12 se presenta el comportamiento de las muestras a las distintas temperaturas. A 10°C aún cuando hubo un cambio al día 4 en el contenido de azúcares, el cual es difícil explicar; se observa que al final de los periodos de almacenamientos no se halló un cambio pronunciado en el contenido de azúcares en tanto que a 5°C, después de 12 y 16 días el contenido de azúcares; disminuyó y a 2°C incrementaron. No se encontró una correlación de este parámetro con el sabor (figura 6).

8.1.9. Cambios en el contenido de fenoles.

Los cambios en la contenido de fenoles se muestran en la figura 13 y en el anexo 1.9 se concentran los análisis estadísticos durante las distintos periodos de almacenamiento. En términos generales se observó que los cilindros de 5 y 2 cm de longitud almacenados a bajas temperaturas (2°C) mostraron una mayor producción de fenoles, teniendo un máximo de producción a los 8 y 12 días, la cual posteriormente fue disminuida. A 10°C las concentraciones fueron bajas a excepción de la muestra de 5 cm de longitud que en el día 16 mostró una alta concentración.

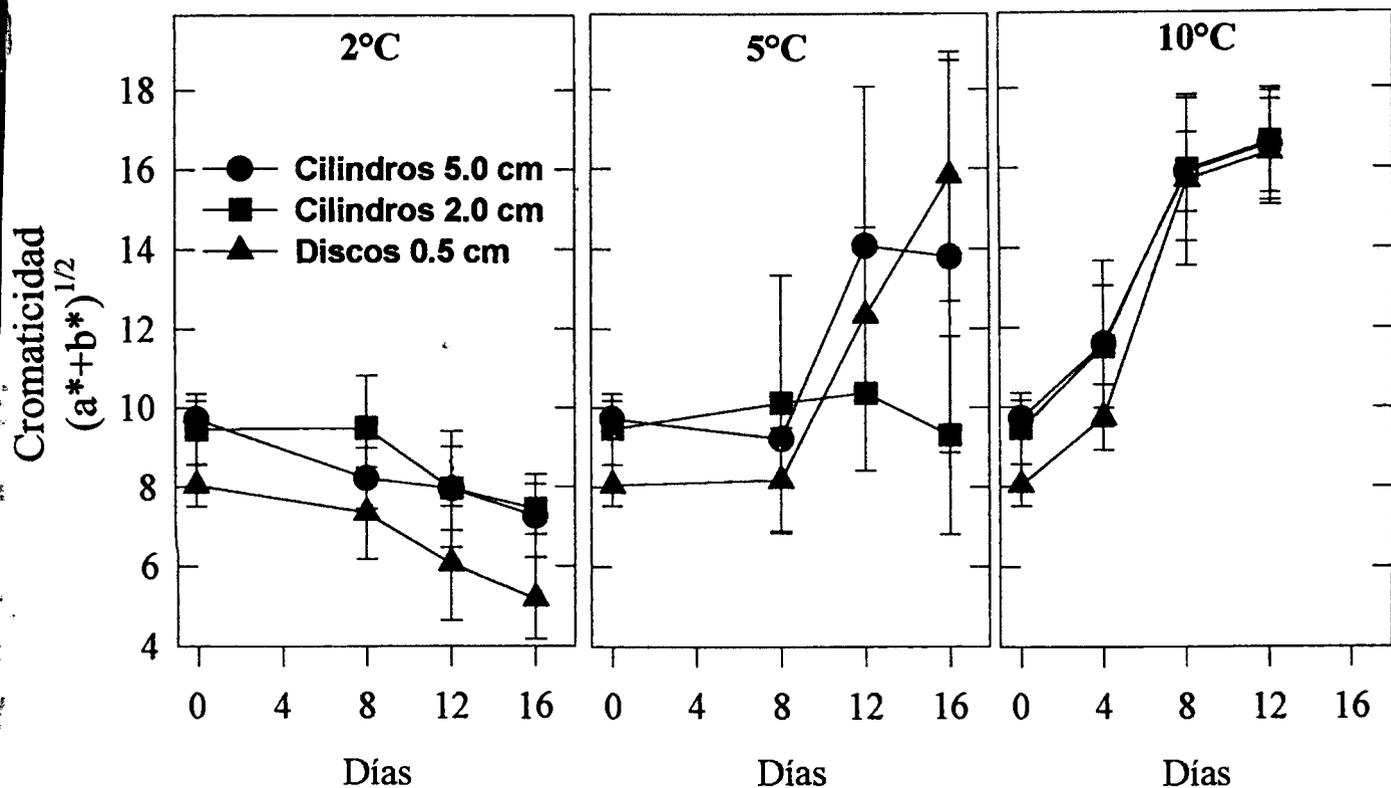


Figura 11. Cambios en la cromaticidad de jícama mínimamente procesada en diferentes formas geométricas y almacenadas a diferentes temperaturas.

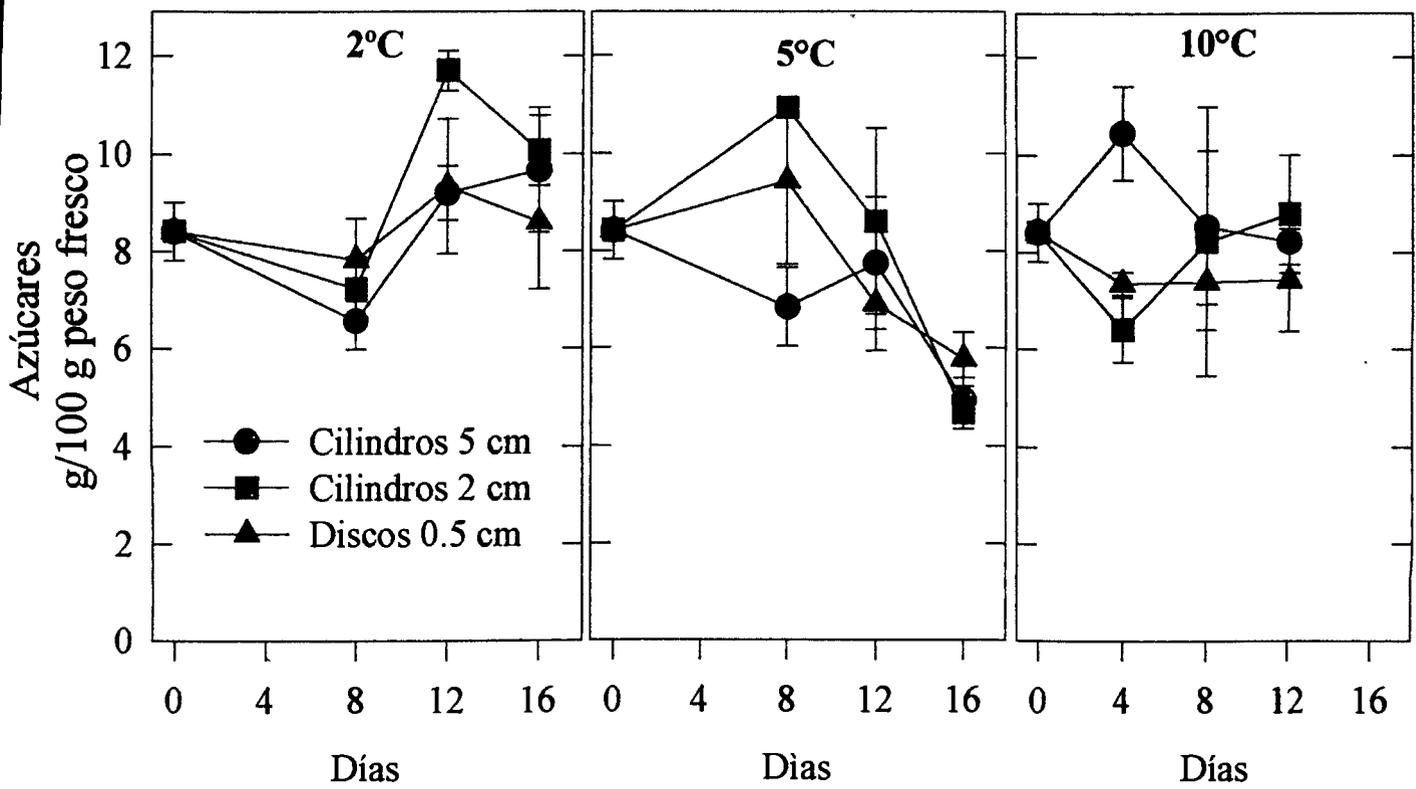


Figura 12. Cambios en el contenido de azúcares de jícama mínimamente procesada en diferentes formas geométricas y almacenadas a diferentes temperaturas.

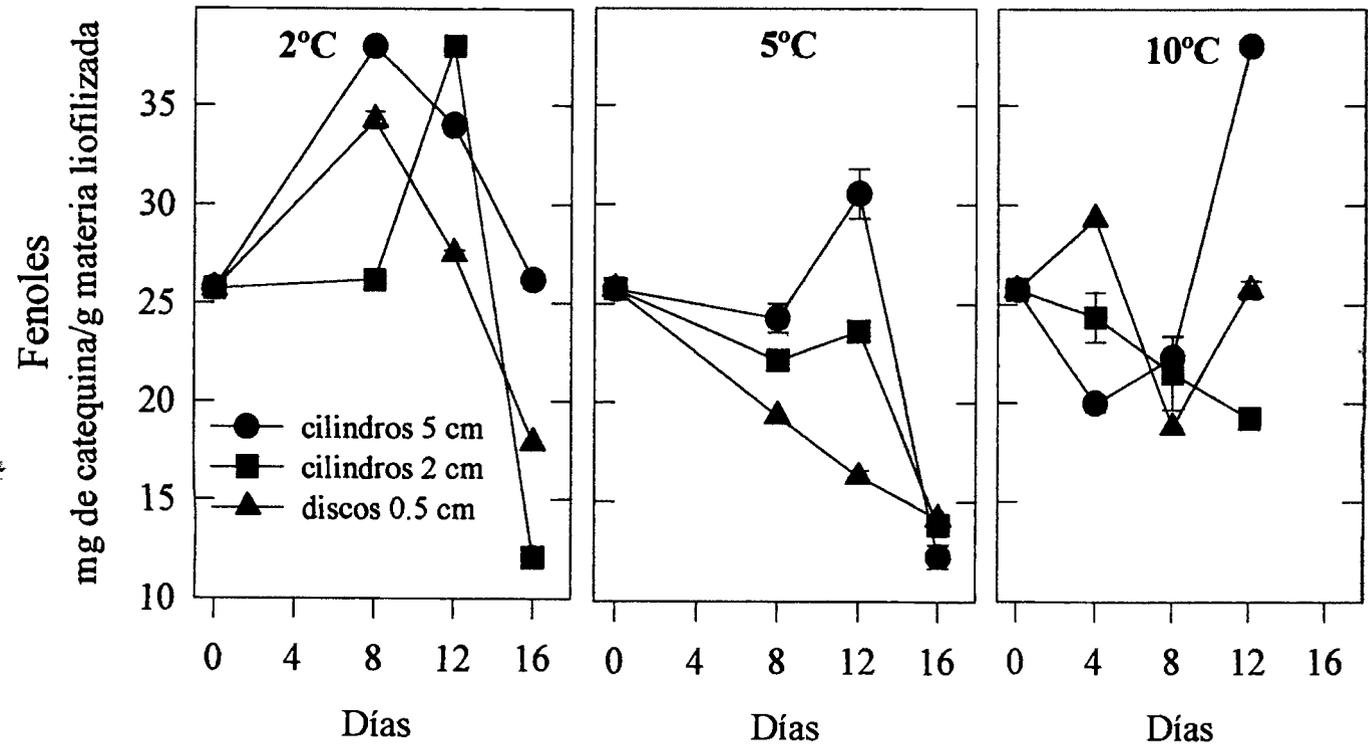


Figura 13. Cambios en el contenido de fenoles en jícama mínimamente procesada en diferentes formas geométricas y almacenada a diferentes temperaturas.

8.2. Efecto del tratamiento térmico sobre la reducción del oscurecimiento en jícama mínimamente procesada.

8.2.1. Establecimiento de las condiciones del tratamiento térmico.

De acuerdo a estudios realizados por Loaiza-Velarde y col. (1997), se desarrolló el estudio preliminar con el fin de identificar la temperatura y tiempo más adecuadas para controlar el oscurecimiento en las piezas de jícama, utilizándose para ello cilindros de 2 cm de longitud y temperaturas de 45, 50, 55 y 60°C, por 2, 4 y 6 minutos almacenándose las piezas a 10°C y evaluándose los parámetros de color y textura a los 6 días de almacenamiento (Figura 2).

En el cuadro 6 se concentran los resultados de cada parámetro analizado, así como el desarrollo del análisis estadístico practicado.

8.2.1.1. Cambios en el índice de blancura y luminosidad.

El cuadro 6 nos muestra los valores del índice de blancura y luminosidad para los diferentes tratamientos. A los 6 días la jícama sometida a tratamiento térmico a 50°C, 2 minutos fue la que presentó los valores más altos en este parámetro y mantuvo el color característico de la jícama, similar al control. Cabe mencionar que el tratamiento térmico de 50°C, 2 minutos fue el que presentó mejor calidad visual que los demás tratamientos a los 6 días de almacenamiento. Aunque el tratamiento de 50°C, 4 y 6 minutos presentaron valores similares las muestras presentaron una ligera decoloración.

8.2.1.2. Cambios en el ángulo de matiz.

El ángulo de matiz nos mostró también (cuadro 6) que el tratamiento térmico de 50°C, 2 minutos al día 6 presentó valores mayores que el control, manteniendo el color característico de la jícama; y que los tratamientos de 55°C a 4 y 6 minutos presentaron los valores más

Cuadro 6. Resultados y análisis estadístico del tratamiento térmico preliminar de la jícama tratada térmicamente.

Tratamiento	Índice de blancura	Luminosidad	Ángulo de matiz	Cromaticidad	Fuerza de penetración (N)	Distancia al punto de ruptura (mm)
Control 0d	71.101cd	73.128bc	103.81df	10.622c	8.2780bcd	1.4078cd
Control 6d	74.288e	75.702d	99.923abc	8.4031ab	9.2540cd	.82400abc
45°C, 2' 6d	71.687d	74.558bcd	99.265abc	12.394d	8.7345bcd	.46850a
45°C, 4' 6d	71.649d	73.675bcd	100.29abcd	10.525c	6.3930a	.65575ab
45°C, 6' 6d	68.080b	70.683a	96.465a	12.577d	8.0825ab	.56650ab
50°C, 2' 6d	74.250e	75.677d	101.28bcd	8.4669abc	8.7998bcd	.54025ab
50°C, 4' 6d	72.632de	74.485bcd	100.09abcd	9.8944c	7.5757abc	.58675ab
50°C, 6' 6d	72.089d	73.595bcd	101.79cd	9.0228abc	7.7685abc	.70350ab
55°C, 2' 6d	68.150b	73.293bc	97.094ab	17.350f	8.4120bcd	.61825ab
55°C, 4' 6d	70.688cd	72.353ab	104.05df	9.7369bc	7.3612ab	.50775a
55°C, 6' 6d	72.404de	73.650bcd	107.83f	8.1869a	6.2762a	1.4492cd
60°C, 2' 6d	71.214cd	74.037bcd	100.98bcd	12.412d	9.0638cd	1.1932bc
60°C, 4' 6d	64.780a	75.115cd	96.021a	24.903g	9.8127d	2.0617de
60°C, 6' 6d	69.631bc	73.805bcd	99.038abc	15.347e	8.5798bcd	2.6753e

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

altos tomando tonalidades amarillas debido a un exudado que presentaron las muestras probablemente debido al desarrollo de microorganismos:

8.2.1.3. Cambios en la cromaticidad.

El tratamiento térmico de 50°C, 2 minutos presentó a los 6 días de almacenamiento valores similares al control, manteniendo el color característico de la jícama; los valores más altos los presentó el tratamiento de 60°C, 4 minutos, cabe señalar que en este tratamiento las muestras tomaron una tonalidad amarilla debido a un de exudado originado probablemente por el desarrollo de microorganismos (cuadro 6).

8.2.1.4. Cambios en la textura.

El cuadro 6 nos muestra los cambios en la fuerza de ruptura, nuevamente el tratamiento a 50°C y 2 minutos presentó valores similares al control al día 6 de almacenamiento, por lo tanto fue el tratamiento que mantuvo mejor su crujencia; aunque algunos tratamientos también presentaron valores altos de fuerza de ruptura su calidad visual fue inferior.

El tratamiento de 50°C por 2 minutos presentó valores bajos en la distancia al punto de ruptura lo cual indicó que mantuvo su crujencia; los tratamientos a 45°C a diferentes tiempos también presentaron valores similares; sin embargo, presentaron una calidad visual menor y a temperaturas de 60°C los valores de la distancia al punto de ruptura se incrementaron lo cual indica que estas jícamas perdieron su crujencia.

8.2.2. Estudio del efecto del tratamiento térmico sobre la calidad de la jícama mínimamente procesada y almacenada a diferentes temperaturas.

Una vez definido el mejor tratamiento térmico a aplicar (50°C, 2 minutos) se llevaron a cabo nuevos experimentos para observar el comportamiento de las muestras de jícama a diferentes temperaturas. Los resultados de ellos fueron los siguientes:

8.2.2.1. Cambios en la calidad visual.

En la figura 14 y en el anexo 2.1 se muestran los cambios en la calidad visual de jícama mínimamente procesada sometida a tratamiento térmico. A 2°C se presentó una disminución de la calidad, a los 8 días la disminución fue ligera, entre el día 12 y 16 la calidad mostrada fue buena y al día 20 fue regular. A 5°C la disminución de la calidad fue mayor mostrando para el día 12 una calidad regular y al día 16 presentaron una calidad por debajo de la mínima aceptable (valor de 6); a 10°C la calidad disminuyó más rápidamente presentando después del día 6 una calidad por debajo de la mínima aceptable (valor de 6). No se encontraron diferencias en la calidad visual entre las jícamas mínimamente procesadas sometidas a tratamiento térmico y el control, por lo cual se considera a la temperatura el factor más importante para mantener la calidad visual de la jícama mínimamente procesada.

8.2.2.2. Cambios en el oscurecimiento visual.

No se encontraron diferencias en el oscurecimiento entre las jícamas mínimamente procesadas sometidas a tratamiento térmico y el control. A 2°C no se presentó oscurecimiento visual a través del tiempo de almacenamiento. A 5°C y después de 12 días se presentó un ligero oscurecimiento; sin embargo, los cambios más evidentes se presentaron a 10°C, en donde después del día 6 el oscurecimiento aumentó gradualmente durante el período de almacenamiento (figura 15 y anexo 2.2). Nuevamente se consideró a la temperatura como el factor más importante en la reducción del oscurecimiento.

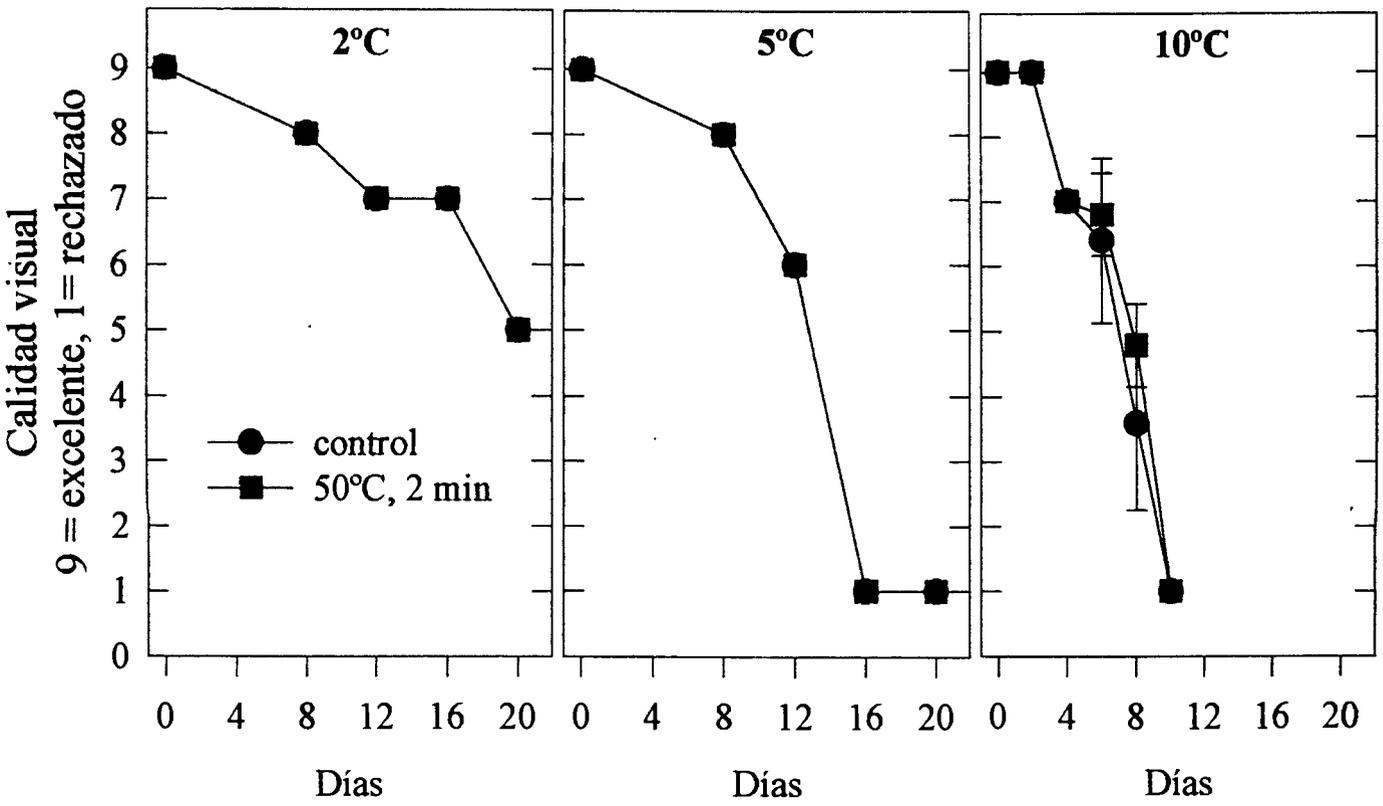


Figura 14. Cambios en la calidad visual de jícama mínimamente procesada tratada térmicamente y almacenada a diferentes temperaturas.

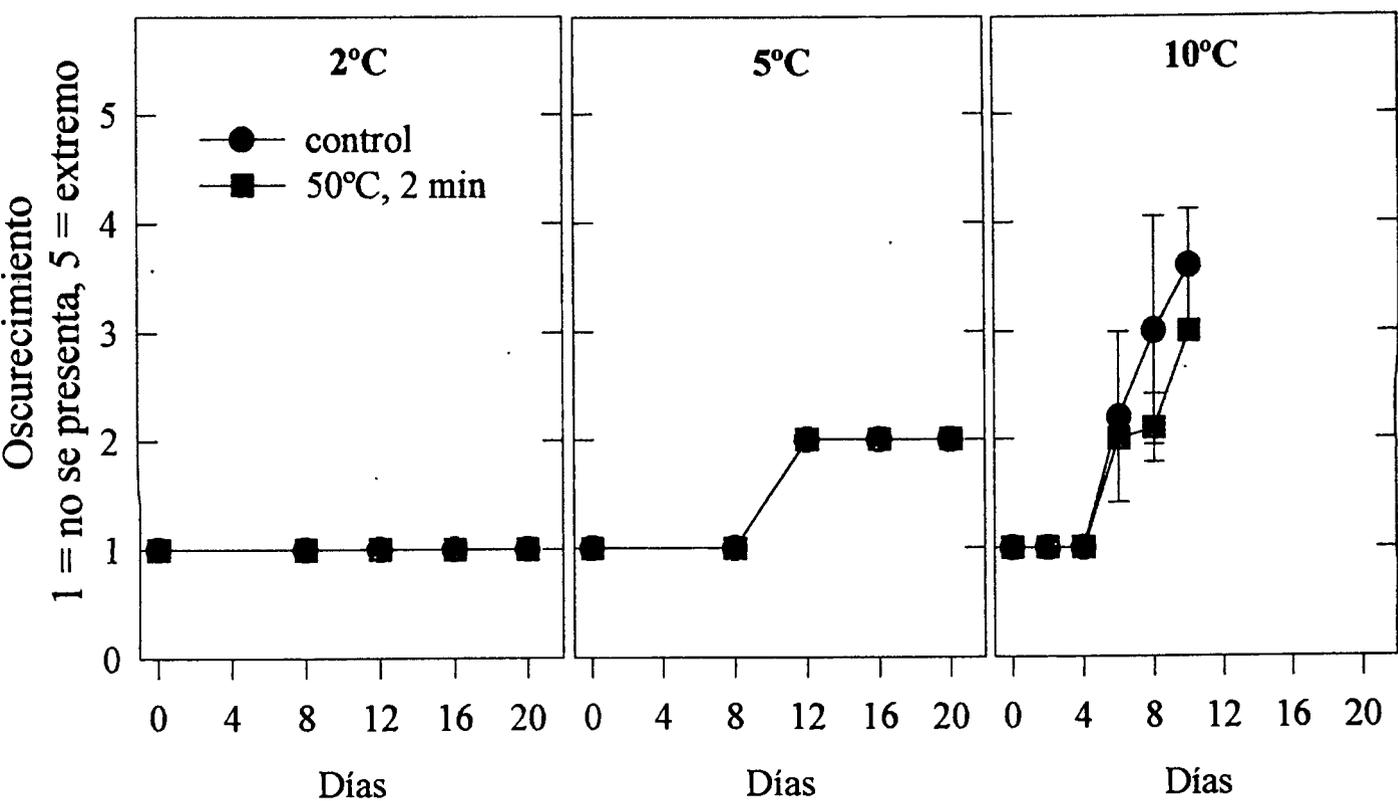


Figura 15. Presencia de oscurecimiento en jícama mínimamente procesada tratada térmicamente y almacenada a diferentes temperaturas.

8.2.2.3. Pudrición macroscópica.

A 2°C no se presentó crecimiento de microorganismos durante el periodo de almacenamiento; sin embargo, a los 16 días las muestras almacenadas a 5°C presentaron un crecimiento de microorganismos moderado (valor 3), en los tratamientos almacenados a 10°C el crecimiento de microorganismos se presentó después de 6 días de almacenamiento mostrando una ligera incidencia (5%) incrementándose la incidencia a los 10 días (10%) (figura 16 y anexo 2.3). Estos resultados mostraron una jícama más sana y menos propensa al ataque de microorganismos.

8.2.2.4. Cambios de sabor.

Los cambios en el sabor se muestran en la figura 17 y el anexo 2.4; a 2°C se presentó un ligero cambio en el sabor entre el día 8 y 12 mostrando un sabor típico, después del día 12 la disminución fue mayor conservando aún un sabor típico. En el almacenamiento a 5°C los cambios en el sabor fueron más evidentes presentando al día 16 la pérdida característica del sabor, en cambio a 10°C la pérdida del sabor fue más rápida, al día 10 el control presentó pérdida del sabor característico (2) a diferencia del tratamiento térmico que presentaba aún un sabor típico (3). Es decir que las muestras procesadas térmicamente mantuvieron un mejor nivel de sabor.

8.2.2.5. Superficie de deshidratación.

Los tratamientos a 2 y 5°C mostraron un comportamiento similar a través del tiempo de almacenamiento, a partir del día 8 ambos tratamientos presentaron una ligera deshidratación superficial. A 10°C se presentó una mayor deshidratación, a partir del los 2 días de almacenamiento, aumentando gradualmente durante el periodo de almacenamiento, en el día 10 la deshidratación superficial de las muestras del tratamiento térmico fue moderada (3); y el control presentó una mayor deshidratación (20%, severa) (figura 18).

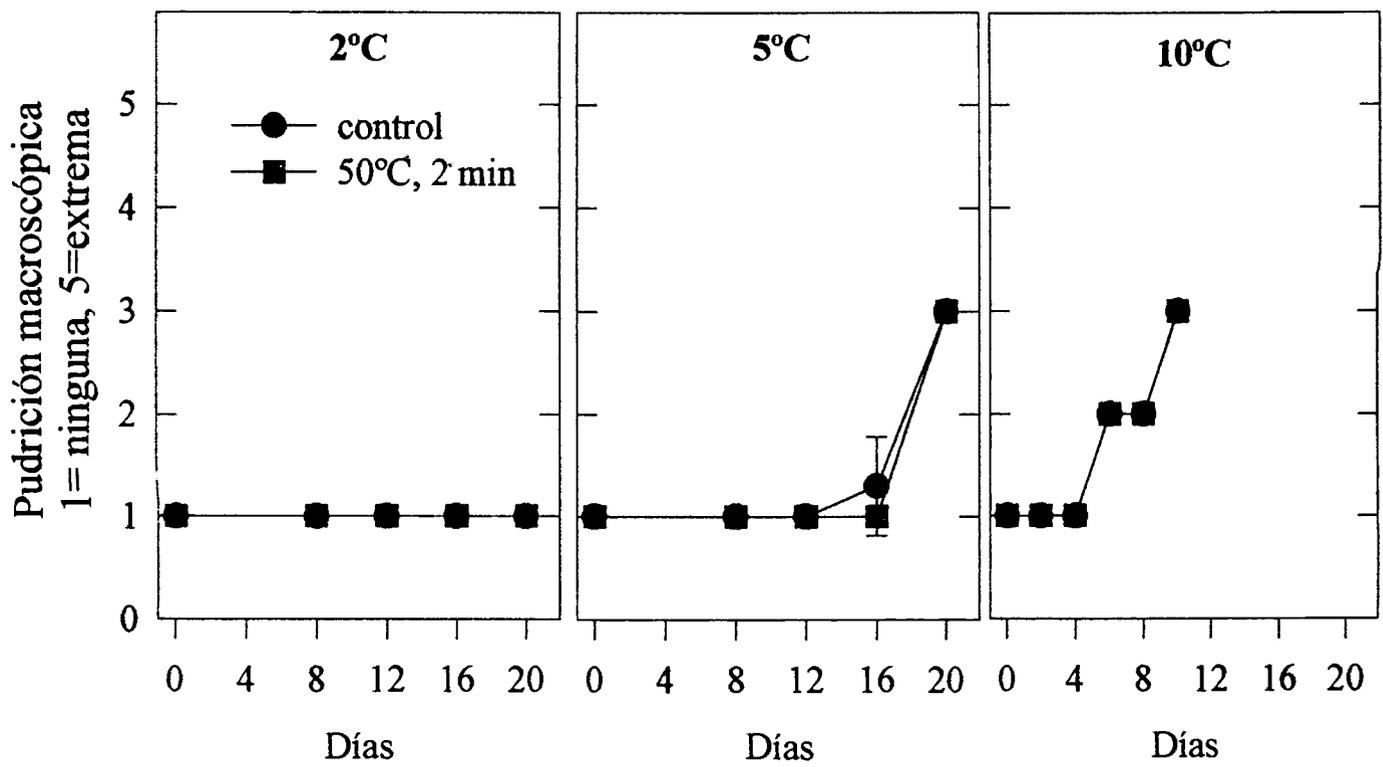


Figura 16. Desarrollo de pudrición macroscópica en jícama mínimamente procesada tratada térmicamente y almacenada a diferentes temperaturas.

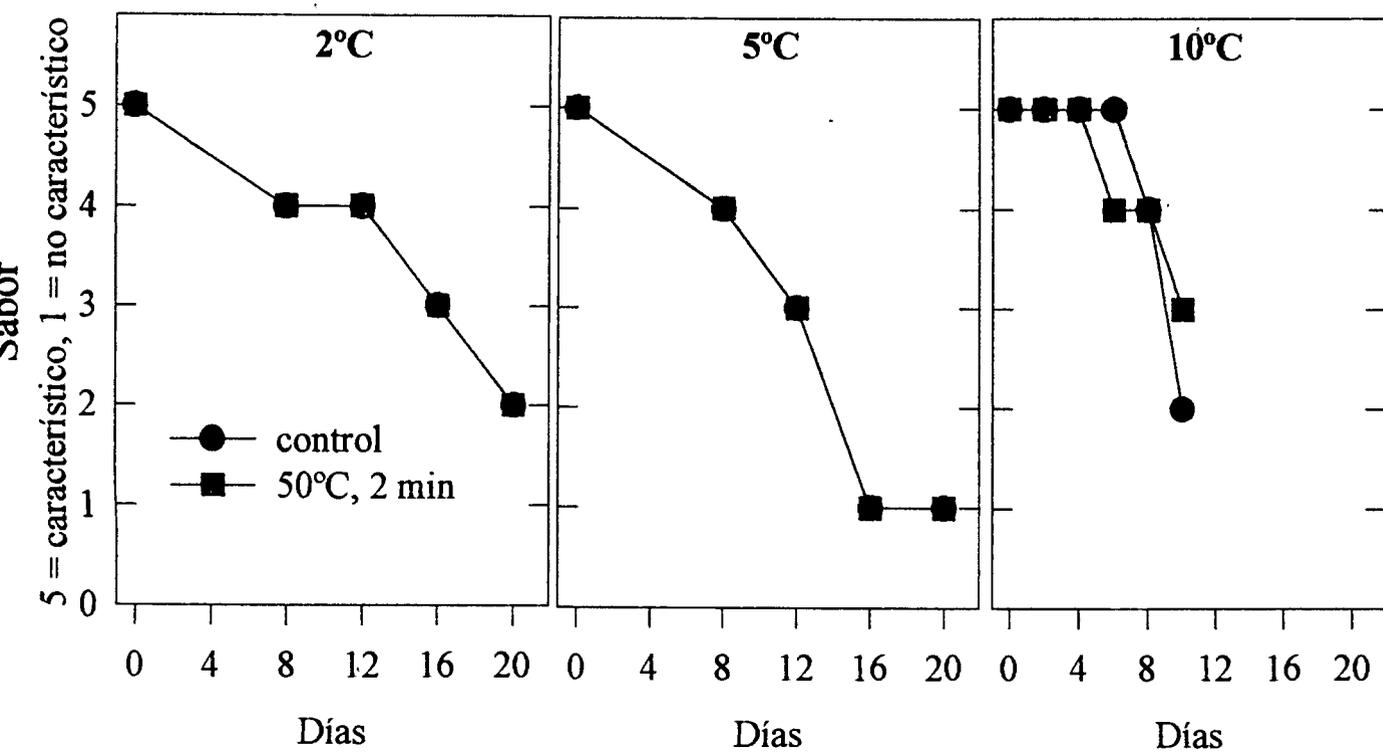


Figura 17. Cambios de sabor en jícama mínimamente procesada tratada térmicamente y almacenada a diferentes temperaturas.

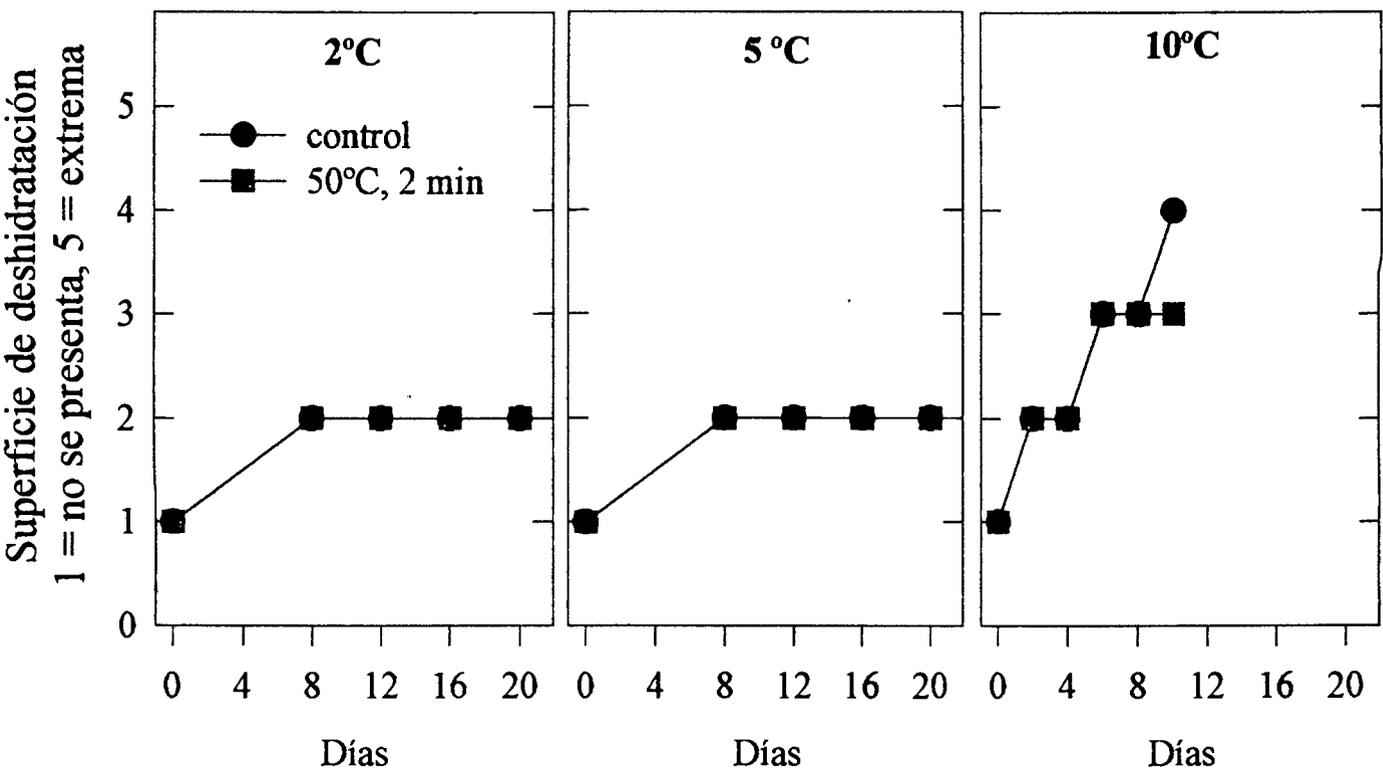


Figura 18. Cambios en la superficie de deshidratación en jícama mínimamente procesada tratada térmicamente y almacenada a diferentes temperaturas.

8.2.2.6. Cambios objetivos en el color.

8.2.2.6.1. Cambios en el índice de blancura y luminosidad.

En la figura 19 y 20 se muestran los cambios en el índice de blancura y luminosidad respectivamente de la jícama mínimamente procesada sometida a tratamiento térmico. En el almacenamiento a 2°C se observó una ligera disminución en los valores del índice de blancura y luminosidad a través del tiempo de almacenamiento, sin embargo no se presentaron diferencias entre el tratamiento térmico y el control. A 5°C se presentó una disminución mayor en ambos valores durante el periodo de almacenamiento, al día 20 hubo un mayor decremento en los valores de las muestras control comparadas con las tratadas térmicamente, este comportamiento fue similar a 10°C donde el control presentó el mayor decremento en los valores del índice de blancura y luminosidad que las muestras en tratamiento térmico a los 10 días de almacenamiento.

8.2.2.6.2. Cambios en el ángulo de matiz.

El ángulo de matiz (figura 21) mostró que a 2°C se presentó un ligero incremento en los valores de este parámetro a través del tiempo de almacenamiento. A 5°C los valores no presentan cambios significativos hasta el día 12 de almacenamiento, a partir del cual se presentó una disminución ligera en los valores del ángulo de matiz para el control, y por el contrario el tratamiento térmico presentó un aumento marcado en estos valores. A 10°C se presentó una disminución gradual de los valores del índice de blancura durante el periodo de almacenamiento, ello indica que las muestras para ambos tratamientos tomaron una tonalidad oscura, lo cual coincidió con la evaluación visual. Esto indicó que el tratamiento térmico especialmente a 2 y 5°C tuvo efectos benéficos sobre las características de color.

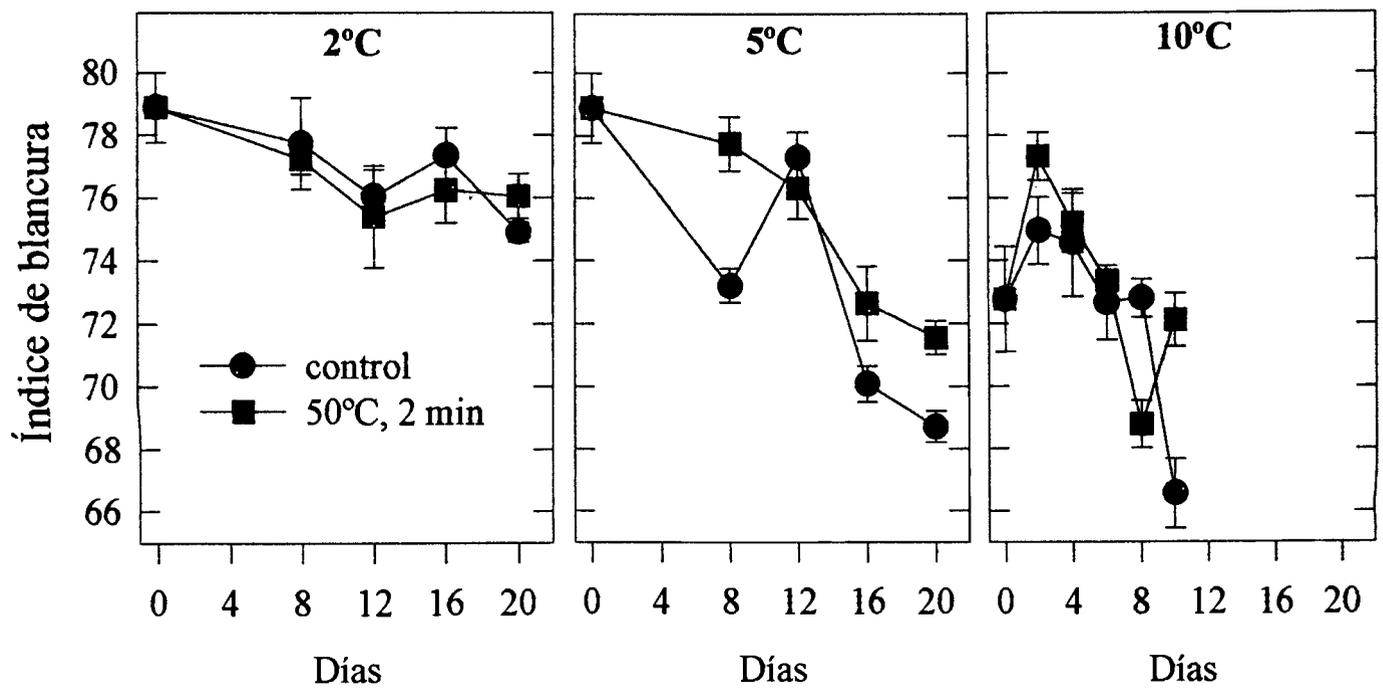


Figura 19. Cambios en el índice de blancura de jícama mínimamente procesada tratada térmicamente y almacenada a diferentes temperaturas.

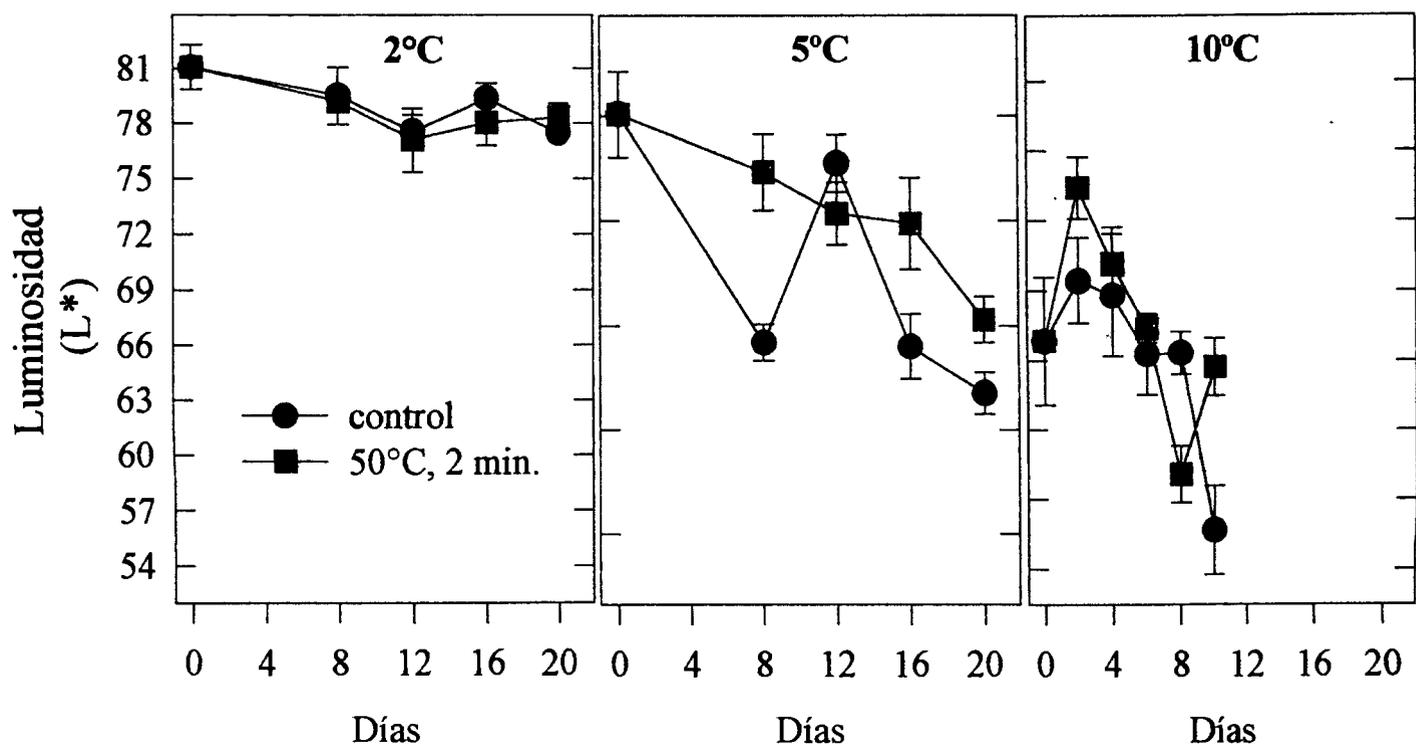


Figura 20. Cambios en la luminosidad en jícama mínimamente procesada tratada térmicamente y almacenada a diferentes temperaturas.

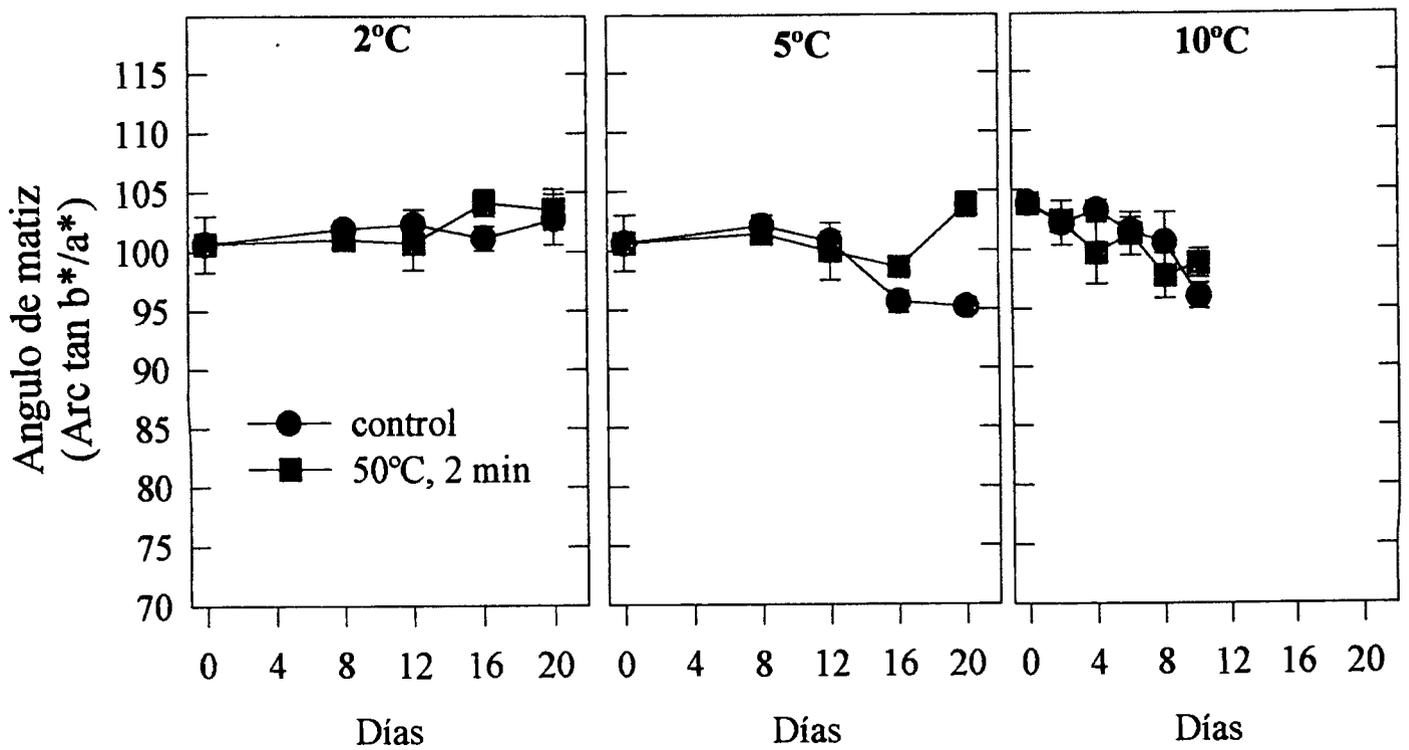


Figura 21. Cambios en el ángulo de matiz en jícama mínimamente procesada tratada térmicamente y almacenada a diferentes temperaturas.

8.2.2.6.3. Cambios en la cromaticidad.

A 2°C se observó un incremento ligero en los valores de la cromaticidad para ambos tratamientos durante el periodo de almacenamiento. En el almacenamiento a 5°C se presentó el mayor incremento a partir del día 8 de almacenamiento; y al día 20 las muestras del tratamiento térmico mostraron una ligera disminución de sus valores, a diferencia del control que mantuvo sus valores altos hasta este día. A 10°C se presentó una ligera disminución en los valores de cromaticidad durante los 6 días de almacenamiento, mostrando un aumento en los valores de cromaticidad después del día 8 siendo mayor para el control que para el tratamiento térmico (figura 22 y anexo 2.5).

8.2.2.6.4. Cambios en la textura.

La figura (23 y el anexo 2.6) nos muestra que los tratamientos a 2 y 5°C mostraron un incremento en la distancia al punto de ruptura después de los 12 días, siendo mayor este incremento para 5°C. A 10°C presentaron en los 4 días de almacenamiento una ligera disminución en este parámetro, después del día 6 los valores en la profundidad de penetración fueron similares a los del inicio del tratamiento. Lo cual nos indica que a 10°C se conservó la textura crujiente de la jícama mínimamente procesada pero la calidad visual no fue adecuada.

Los tratamientos a 2°C mostraron un incremento en los valores de la fuerza de ruptura a través del tiempo de almacenamiento, cabe señalar que al final del almacenamiento no hubo diferencias estadísticamente significativas entre ambos tratamientos. A 5°C se observó un incremento gradual en los valores de este parámetro para el tratamiento térmico; por el contrario el control presentó una caída drástica en los valores de la fuerza de ruptura después de los días 8 de almacenamiento; a los 10°C el comportamiento fue similar presentando después de los 4 días de almacenamiento una menor fuerza de ruptura, teniendo el control los menores valores.

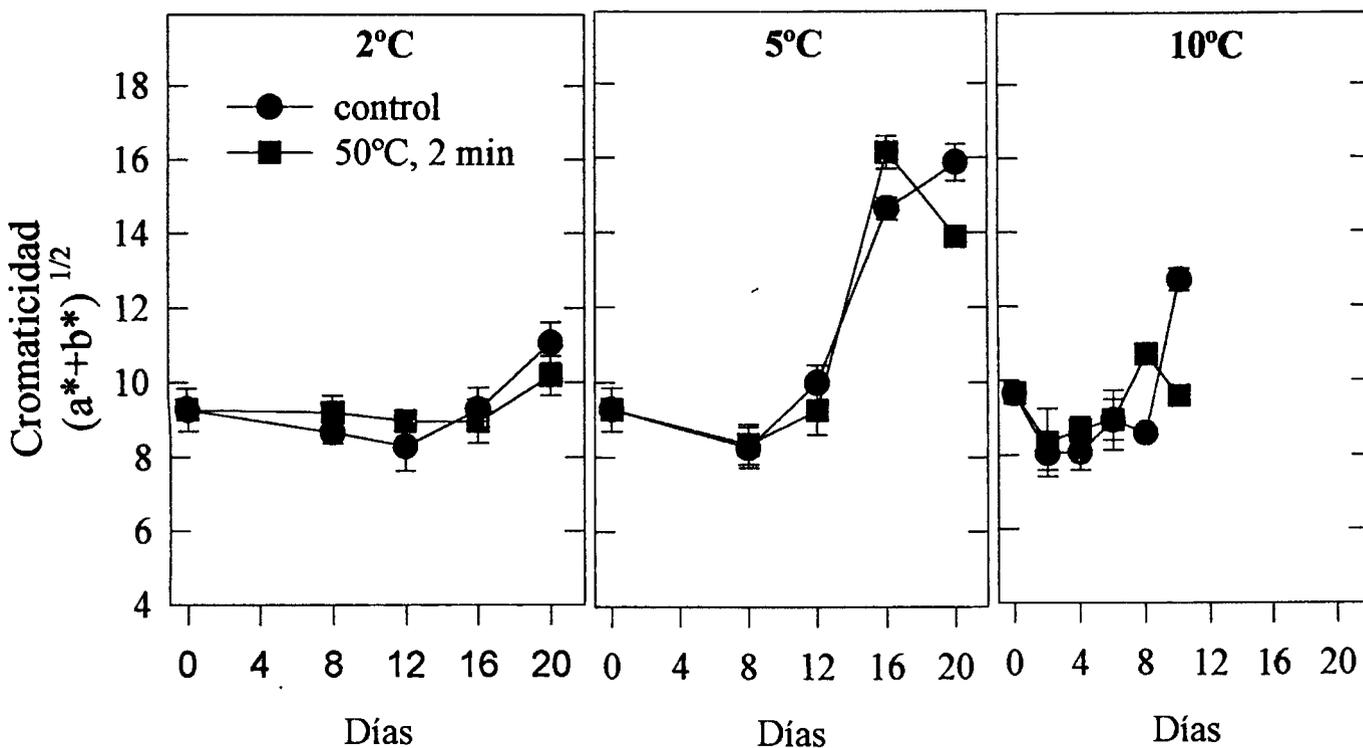


Figura 22. Cambios en la cromaticidad en jícama mínimamente procesada tratada térmicamente y almacenada a diferentes temperaturas.

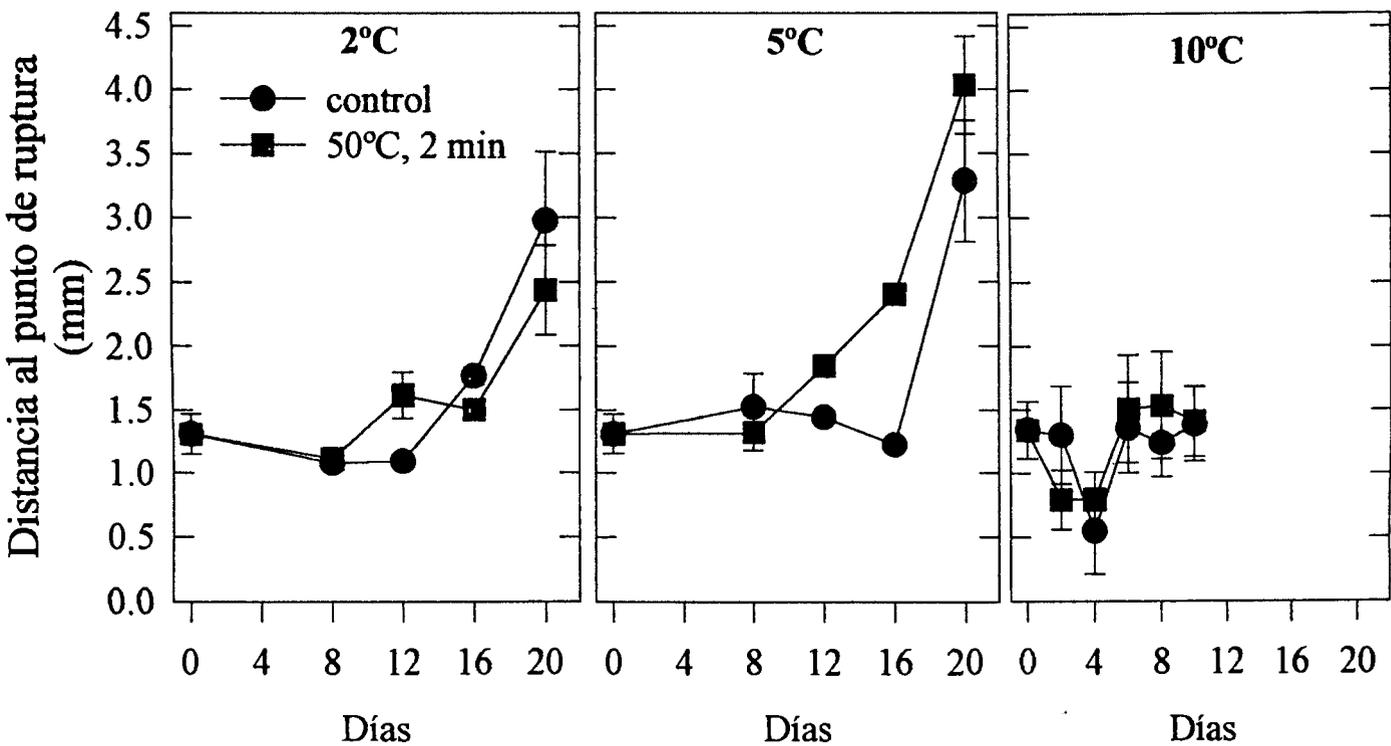


Figura 23. Distancia al punto de ruptura en jícama mínimamente procesada tratada térmicamente y almacenada a diferentes temperaturas.

8.2.2.7. Cambios en el contenido de fenoles.

La figura 24 muestra los cambios en el contenido de fenoles en las distintas muestras de jícama. En forma general se puede observar que el contenido de fenoles tiende a ser mayor a temperaturas de almacenamiento mayores de 5°C como lo indican los valores de las medias del cuadro 7. A 2°C las muestras tratadas térmicamente disminuyeron sus valores hasta el día 12, después de este periodo se aumenta ligeramente hasta el día 20; el control no mostró una tendencia definida, al final del tiempo de almacenamiento ambos tratamientos mostraron valores similares a los iniciales. A 5°C el control mostró un incremento en sus valores al día 8 de almacenamiento; después del día 12 para ambos tratamientos disminuyeron los valores hasta el final del almacenamiento siendo similares a los iniciales. A 10°C los valores de las muestras tratadas térmicamente disminuyeron ligeramente durante los 4 primeros días de almacenamiento, después del día 6 se presentó un incremento muy marcado en estos valores, los cuales disminuyeron para el día 10; en el control los valores más altos se presentaron al día 2 de almacenamiento, después del día 4 estos valores presentaron un decremento muy marcado y al día 10 se presentó un incremento en los valores, a esta temperatura se presentó un oscurecimiento moderado (figura 15).

Cabe señalar que los valores en el contenido de fenoles de las muestras control fueron mayores que en los tratamientos térmicos a las diferentes temperaturas como lo muestra el cuadro 7.

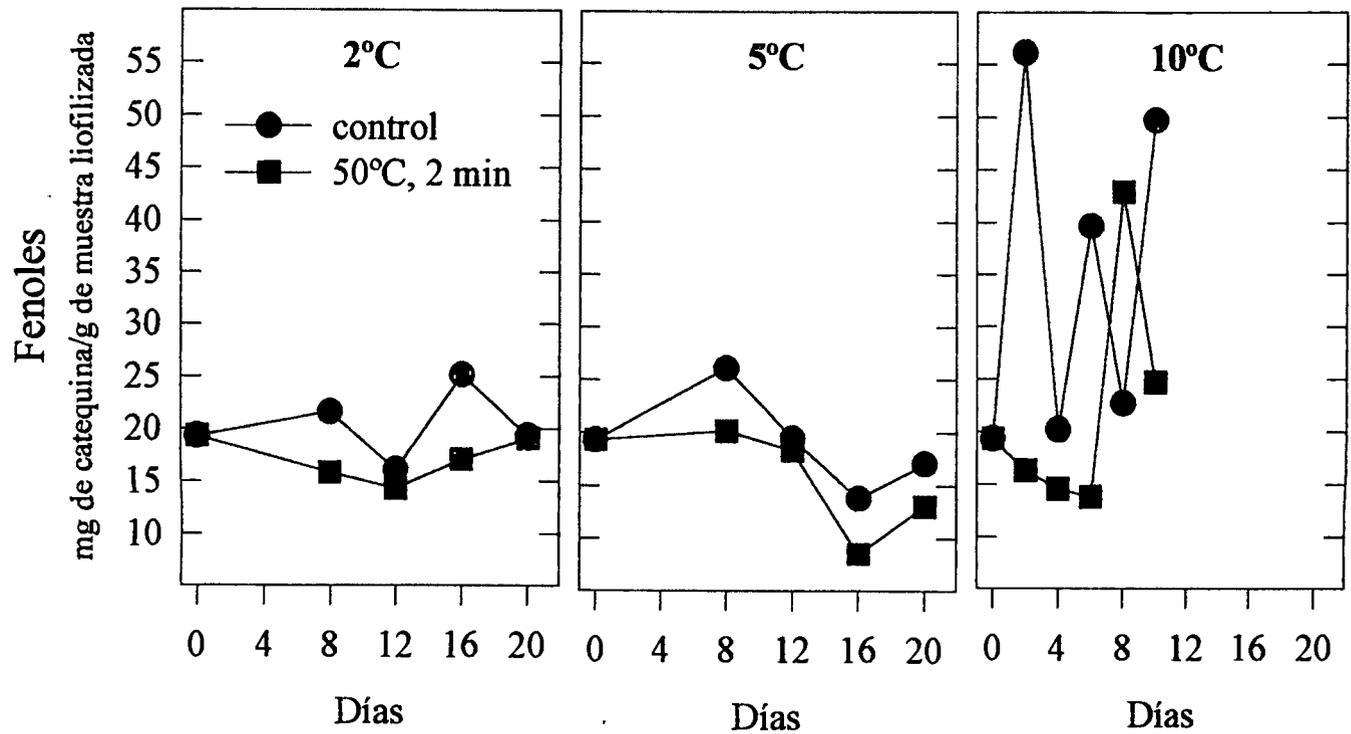


Figura 24. Cambios en el contenido de fenoles en jícama mínimamente procesada tratada térmicamente y almacenada a diferentes temperaturas.

Cuadro 7. Contenido de fenoles de jicama mínimamente procesada tratada térmicamente almacenada a diferentes temperaturas (mg/g materia liofilizada).

Temperatura	Control	Tratamiento térmico
2°C	37.78	22.47
5°C	19.13	15.03
10°C	20.54	16.58

Los valores son el promedio en 20 días de almacenamiento (2 y 5°C) y 10 días de almacenamiento (10°C).

9. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Como se ha indicado las relaciones área/volumen de las figuras geométricas de jícama utilizadas en este estudio fueron 1.5, 2.11 y 5.11 cm^{-1} para los cilindros de 5 cm, 2 cm y discos de 0.5 cm de longitud, respectivamente. De acuerdo a los análisis estadísticos, no se encontraron diferencias entre las diferentes relaciones área/volumen y la calidad visual de la jícama mínimamente procesada, así como de su color objetivo siendo la temperatura el factor que más influyó en el deterioro de la calidad.

Estos resultados coinciden con Aquino-Bolaños (1998), quien utilizó relaciones área/volumen de 1.7, 3.1 y 3.2 cm^{-1} en jícama mínimamente procesada y reportó que lo más importante para minimizar la velocidad de deterioro fue el control de temperatura, independientemente de la forma geométrica de las piezas.

Sin embargo, el análisis de los datos de profundidad al punto de ruptura, el cual nos da una idea de la crujencia de la muestra permitió detectar diferencias entre las distintas relaciones de área/volumen. La mayor relación área/volumen (5.11 cm^{-1}) mantiene la profundidad al punto de ruptura cercana a los valores obtenidos por la jícama fresca (figura 25). Esto permite sugerir que las mejores piezas para jícama mínimamente procesada son aquellas que tengan una relación entre 5 y 2 cm^{-1} y almacenadas a temperatura de 2°C. El hecho de que en el trabajo desarrollado por Aquino-Bolaños (1998), no encontrara diferencias en este parámetro entre las relaciones de 1.7 y 3.2 cm^{-1} se puede explicar ya que esta autora utilizó una sonda de punta redonda para hacer la determinación la cual no permite registrar adecuadamente este parámetro. En el presente trabajo se utilizó una sonda de punta plana que funcionó adecuadamente.

Mercado-Silva y Cantwell (1998), Mercado-Silva y col. (1998) y García (1998), pudieron detectar diferencias en este parámetro en raíces sometidas a daño por frío indicando que este parámetro podría indicar la textura esponjosa que tuvo la jícama después de almacenarla a temperaturas de refrigeración.

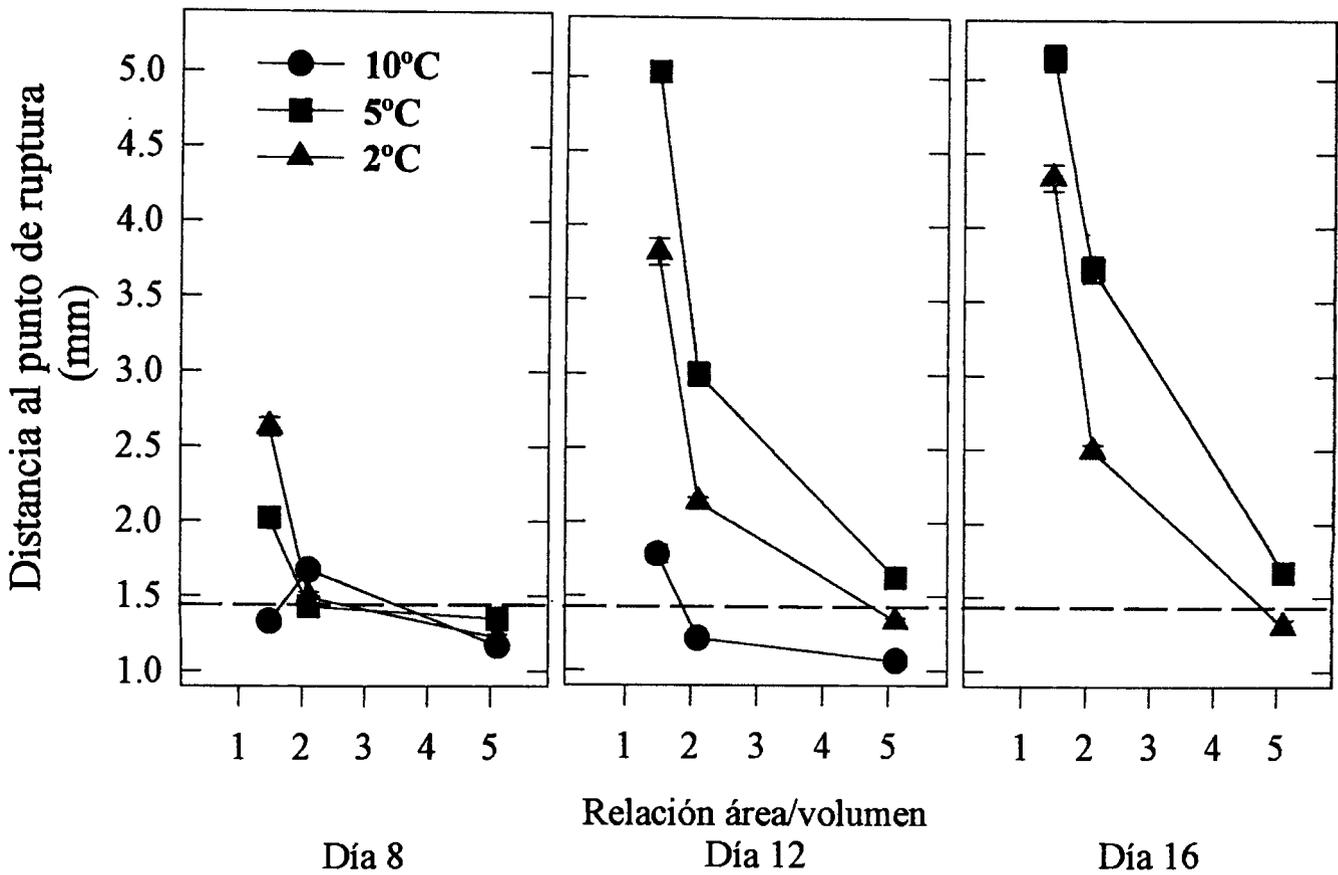


Figura 25. Cambios de la profundidad al punto de ruptura acuerdo a la relación área/volumen en jícama mínimamente procesada almacenada a diferentes temperaturas.
 (----) valor día 0

El comportamiento que tuvieron los azúcares durante la conservación a bajas temperaturas mostró una particularidad importante. Las muestras mantenidas a 2°C incrementaron sus valores con el tiempo de almacenamiento en tanto que las de 5°C lo disminuyeron y a 10°C lo mantuvieron. Ramírez-Moreno (1999), describió un proceso de endulzamiento de jícama intacta cuando éstas se almacenan por dos semanas a 10°C. Es posible que en las jícamas mínimamente procesadas, también presentó este fenómeno de endulzamiento. Sin embargo, el hecho de que no se encuentren estos a 10 ó a 5°C debe estar ligado a otros fenómenos que interactúan entre si. En este caso se puede mencionar el desarrollo de microorganismos que seguramente degradan azúcares que si bien se están generando en el proceso de endulzamiento son degradados por los microorganismos manteniéndolos a un nivel constante a 10°C en tanto que a 5°C la generación de azúcares a partir de almidones no es suficiente para soportar la flora en crecimiento mostrándose un decremento en su contenido; en tanto que a 2°C al no haber desarrollo importante de microorganismos (figura 12) los azúcares tienden a aumentar. Esta puede ser una explicación parcial al fenómeno aunque puede haber la posibilidad de que el consumo de azúcares a través de la respiración del tejido, tenga también una influencia importante.

El oscurecimiento encontrado en las distintas geometrías estuvo mayormente relacionado a la temperatura siendo los parámetro más adecuados para expresar estos cambios la cromaticidad y el ángulo de matiz, así como también el índice de blancura y la luminosidad lo cual coincide con Mercado-Silva y col. (1998) y García (1998).

Ramírez-Moreno (1999) y Ramírez-Martínez (1999) así como Aquino-Bolaños (1998), indicaron un incremento en el contenido de fenoles libres durante el almacenamiento de jícamas intactas y jícama mínimamente procesada. Aquino-Bolaños (1998), pudo relacionar de una manera lineal los cambios de cromaticidad con el contenidos de fenoles libres determinados por el método de Hyodo (1978). En este trabajo no fue posible hallar una correlación entre el contenido de fenoles con los cambios de color e incluso se observan mayor contenido de fenoles a 2°C que a 10°C; muestras que tienen comportamientos de cambios de color opuestos al contenido de fenoles. La explicación a esta diferencia se puede

deber al método de cuantificación empleado. En este caso se utilizó el método de Butler y col. (1992), que se basa en la reacción de la vainillina con fenoles como taninos condensados o que tengan una estructura flavon 3-ol y que por ello es una reacción más específica para este tipo de compuestos y no detectando gran mayoría de otros fenoles que si pueden ser detectados por el método de Hyodo (1978).

De ser cierta esta explicación, dado que a 2 y 5°C se tienen los menores cambios de color, se puede indicar que los fenoles condensados y cuantificados por el método de la vainillina no son responsables de los cambios de color en la jícama mínimamente procesada. Sin embargo, durante el procesado térmico no se obtuvo este comportamiento general y se ajusta más a lo observado por aquellos investigadores. También en este proceso se pudo observar que las muestras tratadas térmicamente mostraron niveles inferiores en el contenido de fenoles que las muestras control.

El tratamiento térmico inhibió la producción de fenoles en las muestras, esto coincide con lo encontrado por Loaiza-Velarde y col. (1997), quienes determinaron que la aplicación de tratamientos térmicos a 45°C, 120 segundos, 50°C, 60 segundos o 55°C, 30 segundos en mibridos de lechuga redujeron la actividad de PAL y el subsecuente oscurecimiento. Sin embargo, el hecho de que las muestras control también mantuvieron niveles bajos de fenoles con respecto a las muestras de la primera etapa indica que puede haber otros factores involucrados en el proceso de oscurecimiento. Si bien los tratamientos térmicos, se han utilizado para controlar el oscurecimiento en productos mínimamente procesados (Loaiza-Velarde y col. 1997; Kim y col. 1993 y Bolin y Huxsoll, 1991), también existen tratamientos alternativos para inhibir el proceso de oscurecimiento como son el cambio de acidez y otros (Bolin y Huxsoll, 1991), que podrían fácilmente aplicar a la jícama ya que la aplicación de ácido cítrico inhibió el desarrollo de color en manzana.

10. CONCLUSIONES.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el presente estudio se pueden señalar las siguientes conclusiones:

1. La temperatura es el factor más importante para la conservación de la calidad de jícama mínimamente procesada. Indicándose que esta debe ser de 2°C.
2. Aunque las distintas figuras geométricas estudiadas no afectaron la calidad visual del producto, desde el punto de vista de textura es recomendable que se utilicen piezas con relaciones área/volumen de más de 5 y 2 cm⁻¹ (cm²/cm³) (cilindros de 0.5 y 2 cm de largo/ 1.8 cm de diámetro) con lo que la textura será parecida a la jícama fresca.
3. Hubo un fenómeno de endulzamiento durante el almacenamiento que estuvo asociado a las temperaturas aplicadas.
4. La aplicación del tratamiento térmico tendió a reducir el nivel de fenoles condensados respecto de las muestras control. Sin embargo, parece también influir el origen de las muestras u otros factores en el proceso.
5. La aplicación del método de vainillina para la cuantificación de fenoles condensados aún debe ser evaluada para determinar si los fenoles condensados son los responsables del oscurecimiento.

11. PROPUESTAS.

La jícama como producto mínimamente procesado ofrecería ventajas importantes tanto al productor como al consumidor. En el primer caso, el incremento en la comercialización; con lo cual se ampliaría su mercado como por ejemplo, a restaurantes, comedores industriales, supermercados y escuelas; generaría la diversificación del producto, y le daría un valor agregado con lo cual la actividad económica de esta raíz se vería estimulada. En cuanto al consumidor; se incrementaría el acceso de jícama a un mayor número de personas; y dadas las características de este producto, también se ofrecería como ventajas la reducción en el tiempo de preparación, facilidad en su almacenamiento, disminución del espacio de almacenamiento y seguridad en su consumo, además no se añaden conservadores. Debido a que cada vez más, el consumidor demanda dietas constituidas por nutrimentos procedentes de productos frescos podría contribuir a incrementar la demanda de este producto.

El incremento en el consumo de jícama también tendría beneficios importantes en la alimentación ya que por su aporte de fibra, su alto contenido de agua y bajo contenido calórico; puede ser importante en el tratamiento de la obesidad, diabetes, hipertensión y enfermedades del corazón, puesto que al ser consumida causa una sensación de saciedad, por lo que la persona tiende a sentirse satisfecha, aunque la energía consumida haya sido escasa. El consumo de alimentos con alto contenido de fibra (como la jícama) podrían contribuir en el control de peso, debido a que se necesita más tiempo para masticar un alimento fibroso, esto retarda el proceso de la alimentación y permite que las señales de saciedad lleguen al cerebro antes que la persona se exceda en la ingestión de alimentos. La fibra tiene efectos en la disminución de las concentraciones sanguíneas de colesterol y respuesta glicémica a los alimentos, reduce el tiempo de residencia de sustancias tóxicas en el intestino, tiene efecto variable en el riesgo de cáncer de colon y recto. En cuanto a los hábitos alimentarios, estos prácticamente no se verían modificados, ya que el producto mínimamente procesado es muy parecido a la jícama fresca y debido a que es aderezada principalmente con chile y limón, podría ofrecerse como botana a la población escolar con lo cual podría disminuirse el consumo de alimentos de bajo valor nutritivo y alto costo.

LITERATURA CITADA

Aquino-Bolaños, E.N. 1998. Efecto de la temperatura, Composición atmosférica, geometría y variedad en la conservación de jicama mínimamente procesada. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Querétaro, México.

Avilan, L.; F. Leal y D. Bautista. 1989. Manual de fruticultura. Cultivo y producción. Editorial América, C.A. Venezuela. pp. 293-294.

Badui, S. 1993. Química de los alimentos. Editorial Alhambra Mexicana, S.A. de C. V. pp. 379-84.

Báez-Sañudo, R., Bringas, T.E. y Báez, S.M. 1997. Uso de agua caliente, vapor y aire caliente forzado como tratamientos cuarentenarios en frutas y hortalizas. Medición de la calidad en frutos tropicales y subtropicales con tratamientos físicos de cuarentena. CYTED. pp. 76-87.

Bergsma, K.A. y Brecht, J.K. 1992. Postharvest respiration, moisture loss, sensory analysis and compositional changes in jicama (*Pachirhizuz 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.

Bolin, H.R. y Huxsoll, C.C. 1991. Control of Minimally Processed Carrot (*Daucus carota*) Surface Discoloration Caused by Abrasion Peeling. Journal of Food Science. 56:2. pp 416-418.

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.
- Burns, J. 1995. Lightly processed fruits and vegetables: *HortScience* 30:14.
- Bustamante, J. de D. 1989. Control químico de maleza e inhibición floral parcial en jicama *Pachyrhizus erosus*, agrohabitat IA8. Programa y memoria de resúmenes. III Congreso Nacional. Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas A.C. Oaxtepec, Mor. México.
- Butler, L.G., Price, M.L. y Brotherton, J.F. 1982. Vainillin Assay for Proanthocyanidins (Condensed Tannins): Modification of the Solvent for Estimation of the Degree of Polymerization. *J. Agric. Food. Chem.* 30 (6): 1087-1089.
- Burton, W.G. 1982. *Post-harvest Physiology of Food Crops*. Longman. London.
- Buysse, J. R. Mercky, 1993. Método colorimétrico para cuantificar el contenido de azúcar en tejidos vegetales. *V. Exp. Bot.* (44) 1627-1629.
- 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., 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 jugo. Cuadernos de Nutrición. Vol. 18. Núm. 1. Enero-Febrero. pp. 30-34.

Centro de Estadística Agropecuaria, Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. 1996.

Chung, K., Wei, C., Johnson. 1998. G.M., Are tannins a double edged sword in biology and health. Trends in food Science and Technology. 9:168-175.

Dixon, R. y Paiva, N. 1995. Stress-induced phenylpropanoid metabolism. The Plant Cell. 7: 1085-1097.

Evans, I.M; Boulter, D; Eaglesham, A.R.J; Dart, P.J. 1977. Protein content and quality of tuberous roots of some legumes determined by chemical methods. Quality Plant. Pl. Fds. Human Nutrition. XXVII, 3-4: 275-285.

Felman, B. E. 1990. Principios de Nutrición Clínica. Manual Moderno. México, D.F. p. 20.

Fennema, R. 1985. Food Chemistry. Segunda Edición. Marcel Dekke, INC. New York, NY. p 98.

Fernández, M.V., Marid, W.A., Loaiza, J.M., Martínez, J.J. y Serrano, A. 1996. Efecto of planting methods on root characters of jicama (*Pachyrhizus erosus* (L.) Urban) Jpn. J. Trop. Agr. 40(1): 26-28.

Frazier, W.C., y Westhoff, D.C. 1978. Fundamentos de la conservación de los alimentos. En: Microbiología de los Alimentos. p. 89-165. Acribia. Zaragoza. España.

Friedman, M. 1987. Chemistry, Biochemistry, and Dietary Role of Potato Polyphenols. A review. J. Agric. Food Chem. 45: 1523-1540.

García, R. 1998. Cambios relacionados con el daño por frío en los ácidos grasos del fosfatidilglicerol y fosfatidilcolina de la membrana plasmática y en los niveles de antioxidantes naturales de jícama (*Pachyrhizus erosus*). Tesis de Doctorado, Universidad Autónoma de Querétaro, México.

González, R. 1996. Investigación y tecnología de producción en el cultivo de Jícama (*Pachyrhizus erosus* (L) Urban) en los estados de Nayarit, México. Segundo Simposium Internacional de Tuberosas. pp 155-166.

Gordon, D. 1989. Functional Properties vs Physiological Action of Total Dietary Fiber. The American Association of Cereal Chemist. 34(7): 517-520.

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.

Murray, R. 1992. Bioquímica de harper. El Manual Moderno, S.A. de C.V. México, D.F. pp 125-126.

Hassid, W.Z. and Ballou, C. E. 1957. Oligosaccharides. In: W. Pigman (de.). The carbohydrates. Chemistry, biochemistry, physiology. Academic Press Inc. Ney York. pp.478-535.

Heredia, Z.A. 1996. El cultivo de la jícama (*Pachyrhizus erosus* (L.) Urban) en la región del bajío en el Estado de Guanajuato, México. Segundo Simposium Internacional de Tuberosas. pp 167-174.

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 Sorensen, M. (de) Proc. First Intl. Symposium on Tuberous Legumes Guadaloupe, F.W.

pp.257-272.

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.

INEGI. 1991. VII Censo Agrícola Ganadero.

Instituto Nacional de la Nutrición. 1992. Valor nutritivo de los alimentos de mayor consumo en México. México, D.F. p 11.

Juarez-Goiz, J.M.S. 1994. Conservación de jicama por métodos combinados. Tesis de Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos. PROPAC. Facultad de Química. UAQ, Qro. México.

Juárez, S.M. y Paredes-López, O. 1994. Studies on jicama juice processing. *Plants for Human Nutrition* 46: 127-131.

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, AA., Lipton, W.J. y Morris, L:L: 1973. Systems for Scoring Quality of Harvested lettuce. *HortSciencie* 8: 408-410.

Kaufer, H. M. 1985. La fibra y su aporte a la salud. Cuadernos de nutrición. No. 5. Septiembre-Octubre. pp 17-32.

Kays, J. Stanley. 1991. Postharvest Biology and Technology: and Overview. En Kader, A.A. (DE) *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. Publicación 3311. Universidad de California Davis CA. pp 15-20.

- 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.
- Kim, D.M., Smith, N.L. y Lee, C.Y. 1993. Aple Cultivar Variations to Heat Treatment and Minimal Processing. *Journal of Food Science.* 58:5. pp 1111-1124.
- Kolattukudy, P.E. 1984. Biochemistry and function of cutin and suberin. *Can. J. Bot.* 62: 918-933.
- Laguna, J., 1979. *Bioquímica.* 2a. de. La Prensa Médica Mexicana Editorial Fornicer, S.A. México, D.F. pp. 143-147.
- Lipton, W. 1980. Interpretation of quality evaluations of horticultural crops. *HortScience* 15(1): 64-67.
- Loaiza-Velarde, J.G., Tomás-Barberá, F.A. y Salveit, M.E. 1997. Efect of Intensity and Duration of Heat-shock Treatments on Wound-induced Phenolic Metabolism in Iceberg Lettuce. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 122(6): 873-877.
- López-Gálvez, 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.
- Lund, D. B. 1975. Effects of blanching, pasteurization, and sterilization on nutrients. En: *Nutritional evaluation of Food Processing.* R. S. Harris y E. Karmas (Eds). p. 205-240. AVI Publishing Company Inc. Westport, Connecticut.
- Lurie, S. y Klein, J.D. 1991. Adquisition of low-temperature tolerance in tomatoes by exposure to high-temperature stress *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 116(6), pp 1007-1012.

Lyonin, W. 1987. Stres-Induced Phenylpropanoid Metabolism. *Jornal-Society-for-Cultural-Science*; 40(7).

Macheix, J.J., Fleuriet, A. y Billot, J. 1990. The main phenolics of fruits. pp 1-30. En *Fruits Phenolics*. CRS Press, Inc. Boca Raton, Florida.

Martínez-Téllez, M.A. y Lafuente, T. 1997. Acondicionamiento térmico y daño por frío en flavedo de mandarina "Fortune": cambios bioquímicos en almacenamiento. VII Congreso Nacional de Horticultura. Vol. 5. Núm. 1. 114.

McGuire, 1992. Reporting of objective color measurements. *HortScience*. 27(12) pp 1254-1255.

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., Garcia , 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.

Mórrera, J. 1994. Rejuvenecimiento, Caracterización, Evaluación y Utilización de Jicama en Catie-Costa Rica. Primer Simposium Internacional de Tuberosas. pp 287-404.

Mottoo, A. K.; T. Murata; Er. B. Pantastico; K. Chachin; K. Ogata y C. T. Phan. 1979. cambios bioquímicos durante la maduración y senescencia. En: Er. B. Pantastico (de.).

Fisiología de la postrecolección, manejo y utilización de frutas y hortalizas tropicales y subtropicales. Compañía Editorial Continental, S.A. México, D.F. pp. 129-156.

Murray, R. 1992. Bioquímica de Harper. El Manual Moderno, S.A. de C.V. México, D.F. pp 125-126.

Paull, R.E. 1990. Chilling injury of crops of tropical and subtropical origin. En: Chilling injury of horticultural crops. De. Wang, Y.C. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida.

Paull, R.E. y Chen, N.J. 1988. Compositional changes in Yam Bean during storage. HortScience 23: 194-196.

Ramírez-Martínez, A. S. 1999. Cambios en la concentración de compuestos fenólicos y las actividades de polifenol oxidasa y fenilalanina amonio liasa en dos especies de jícama almacenadas a bajas temperaturas. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Querétaro, México.

Ramírez-Moreno, E. 1999. Cambios en los nutrimentos de tres materiales genéticos de jícama almacenada bajo refrigeración. Tesis de Licenciatura en Nutrición. Universidad Autónoma de Querétaro. México.

Ramos, G. 1993. Alimentación normal en niños y adolescentes. Manual Moderno. México, D.F. pp. 463-465.

Rodríguez. 1984. F.J. Antioxidantes naturales. Tecnología alimentaria. 19(6). pp 28-30.

Rolle, R.S. y Chism, G.W. 1987. Physiological consequences of minimally processed fruits and vegetables. J. Food Quality 10: 57-117.

Romero, R.; Riquilme, F.; Pretel, M.T.; Martínez, G.; Serrano, M.; Martínez, C.; Lozano, P.; Segura, P. y Luna, P. 1996. Nuevas Tecnologías de Conservación de Frutas y Hortalizas. Cuadernos Value. pp 161-162.

Rosado, J.L., López, P., Morales, M. y Allen, L. 1991. Fiber digestibility and breath hydrogen excretion from subjects consuming rural and urban Mexican diets. Am. J. Clin. Nutr. 52.

Rubatzky, V. y Yamaguchi, M. 1997. World Vegetables: Principles, Production and Nutritive Values. Chapman and Hall. 2a. Edición USA.

Saltveit, M. 1998. Fresh-cut product biology. En Fresh-Cut Products: Maintaining Quality and Safety UC Davis Postharvest Hort. Series No. 10.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SAGARH). 1991.

Schlimme, D. 1995. Marketing lightly processed fruits and vegetables. HortScience 30: 15-17.

Sørensen, M. 1996. Yam Bean. Pachirhisus DC. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/International Plant of Genetic Resources Institute, Rome. pp. 55.

Sørensen, M. 1990. Observations on distribution, ecology and cultivation of the tuber-bearing legume genus Pachirhisus. Rich. ex DC. pp. 1-38. Agricultural University Wageningen, Netherlands.

Sørensen, M. 1988. A taxonomic revision of the genus Pachirhisus (Fabaceae-Phaseoleae). Nortical Journal of Botany. 8:167-191.

Sortwel, D.R. 1996. El uso de Antioxidantes Fenólicos en Alimentos Procesados. *Industria alimentaria*. 18(3).

Sowden, J.C. 1957. Ocurrence, properties and synthesis of the monosaccharides. In: W. Pigman (de.). *The carbohydrates. Chemistry, biochemistry, physiology*. Academic Press Inc. New York. pp. 77-137.

Stinch, F.H. 1991. The benefical and hazardous effects of simple phenolic compounds. *Cancer research Centre. Mutation Research*. 259: 307-324.

Sturgeon, R.J. 1990. Monosacharides. In: P.M. Dey and J.B. Harborne (eds.). *Methods in plant biochemistry*. Vol. II. academic Press Limited. London. pp. 1-37.

United States Department of Agriculture. 1993. *Fresh-Cut Produce. Shipping Point and Market Inspections for Frsh-Cut Produce*. Washington, D.C. General Inspections Intructions.

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

Whiting, G.C. 1970. Sugars. En: A.C. Hulme (Ed). *The biochemistry of fruits and their products*. Vol.I. Academic Press Inc. London. pp. 1-31:

Wiley, C.R. 1997. *Frutas y Verduras Mínimamente Procesadas y Refrigeradas*. Editorial Acibia, S.A. Zaragoza, España. p 75.

Wills, R.H.h.; T.H. Lee; Graham; W.B. MacGlasson and E.G. Hall. 1981. *Postharvest. An introduction to the physiology and handling of fruits and vegetables*. Granada Publishing Limited. London. p. 35.

Zinsou, C. 1992. Composition biochimique des legumineuses tuberiferes. The first international symposium on tuberous legumes. Guadeloupe, F.W. 5: 151-156.

ANEXO 1.

Anexo 1.1. Análisis estadístico de la calidad visual en el día 8 de almacenamiento de la jícama mínimamente procesada almacenada a diferentes temperaturas.

Tratamiento	Figura	Día 8
10°C	Cilindros (1.8 x 5 cm)	1.6667a
10°C	Cilindros (1.8 x 2 cm)	1.0a
10°C	Discos (1.8 x 0.5 cm)	1.0a
5°C	Cilindros (1.8 x 5 cm)	7.0b
5°C	Cilindros (1.8 x 2 cm)	6.3333b
5°C	Discos (1.8 x 0.5 cm)	7.0b
2°C	Cilindros (1.8 x 5 cm)	9.0c
2°C	Cilindros (1.8 x 2 cm)	9.0c
2°C	Discos (1.8 x 0.5 cm)	9.0c

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

Anexo 1.2. Análisis estadístico del oscurecimiento en el día 8 de almacenamiento de la jícama mínimamente procesada almacenada a diferentes temperaturas.

Tratamiento	Figura	Día 8
10°C	Cilindros (1.8 x 5 cm)	4.6667d
10°C	Cilindros (1.8 x 2 cm)	5d
10C	Discos (1.8 x 0.5 cm)	5d
5°C	Cilindros (1.8 x 5 cm)	2bc
5C	Cilindros (1.8 x 2 cm)	2.3333c
5C	Discos (1.8 x 0.5 cm)	2bc
2C	Cilindros (1.8 x 5 cm)	1a
2C	Cilindros (1.8 x 2 cm)	1a
2C	Discos (1.8 x 0.5 cm)	1a

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

Anexo 1.3. Análisis estadístico del sabor al día 8 de almacenamiento de la jicama mínimamente procesada almacenada a diferentes temperaturas.

Sabor		
Tratamiento	Figura	Día 8
10°C	Cilindros (1.8 x 5 cm)	2.7778b
10°C	Cilindros (1.8 x 2 cm)	2.1111ab
10C	Discos (1.8 x 0.5 cm)	1.6667a
5°C	Cilindros (1.8 x 5 cm)	4c
5°C	Cilindros (1.8 x 2 cm)	3.6667c
5C	Discos (1.8 x 0.5 cm)	4c
2°C	Cilindros (1.8 x 5 cm)	5d
2°C	Cilindros (1.8 x 2 cm)	5d
2°C	Discos (1.8 x 0.5 cm)	5d

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

Anexo 1.4. Análisis estadístico de la superficie de deshidratación al día 8 de almacenamiento de la jícama mínimamente procesada almacenada a diferentes temperaturas.

Tratamiento	Figura	Día 8
10°C	Cilindros (1.8 x 5 cm)	4d
10°C	Cilindros (1.8 x 2 cm)	4d
10°C	Discos (1.8 x 0.5 cm)	5e
5°C	Cilindros (1.8 x 5 cm)	1a
5°C	Cilindros (1.8 x 2 cm)	1.33a
5C	Discos (1.8 x 0.5 cm)	1a
2°C	Cilindros (1.8 x 5 cm)	2c
2C	Cilindros (1.8 x 2 cm)	2c
2°C	Discos (1.8 x 0.5 cm)	2c

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

Anexo 1.5. Análisis estadístico de la distancia al punto de ruptura (mm) durante el período de almacenamiento de la jícama mínimamente procesada almacenada a diferentes temperaturas.

Tratamiento	Figura	Día 8	Día 12	Día 16
10°C	Cilindros (1.8 x 5 cm)	1.3357a	1.8918ab	
10°C	Cilindros (1.8 x 2 cm)	1.6776a	1.2133a	
10°C	Discos (1.8 x 0.5 cm)	1.1740a	1.1123a	
5°C	Cilindros (1.8 x 5 cm)	2.0146bc	5.0336c	5.1460d
5°C	Cilindros (1.8 x 2 cm)	1.4270ab	2.9969bc	3.7203c
5°C	Discos (1.8 x 0.5 cm)	1.3484a	1.6252ab	1.6672ab
2°C	Cilindros (1.8 x 5 cm)	2.6316c	3.8157c	4.3371cd
2°C	Cilindros (1.8 x 2 cm)	1.4872ab	2.1361ab	2.4798b
2°C	Discos (1.8 x 0.5 cm)	1.2229a	1.3318a	1.3032a

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

Anexo 1.5. Análisis estadístico de la fuerza de penetración (N) al día 8 de almacenamiento de la jícama mínimamente procesada almacenada a diferentes temperaturas.

Tratamiento	Figura	Día 8
10°C	Cilindros (1.8 x 5 cm)	11.404a
10°C	Cilindros (1.8 x 2 cm)	12.503a
10°C	Discos (1.8 x 0.5 cm)	11.438a
5°C	Cilindros (1.8 x 5 cm)	12.251a
5°C	Cilindros (1.8 x 2 cm)	11.496a
5°C	Discos (1.8 x 0.5 cm)	12.215a
2°C	Cilindros (1.8 x 5 cm)	11.888a
2°C	Cilindros (1.8 x 2 cm)	12.859a
2°C	Discos (1.8 x 0.5 cm)	12.779a

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

Anexo 1.6. Análisis estadístico del índice de blancura de la jícama mínimamente procesada almacenada a diferentes temperaturas.

Tratamiento	Figura	Día 8	Día 12	Día 16
10°C	Cilindros (1.8 x 5 cm)	61.228a	55.490a	
10°C	Cilindros (1.8 x 2 cm)	59.627a	55.442a	
10°C	Discos (1.8 x 0.5 cm)	59.450a	60.037a	
5°C	Cilindros (1.8 x 5 cm)	69.094b	69.125b	68.275ab
5°C	Cilindros (1.8 x 2 cm)	70.717b	70.260b	67.781ab
5°C	Discos (1.8 x 0.5 cm)	70.927b	70.191b	67.433a
2°C	Cilindros (1.8 x 5 cm)	70.223b	70.752b	74.360b
2°C	Cilindros (1.8 x 2 cm)	72.727b	72.249b	72.043b
2°C	Discos (1.8 x 0.5 cm)	69.757b	71.728b	69.610ab

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

Anexo 1.6. Análisis estadístico de luminosidad de la jícama mínimamente procesada almacenada a diferentes temperaturas.

Temperatura	Figura	Día 8	Día 12	Día 16
10°C	Cilindros (1.8 x 5 cm)	64.738a	58.968a	
10°C	Cilindros (1.8 x 2 cm)	62.992a	58.867a	
10°C	Discos (1.8 x 0.5 cm)	62.721a	63.654a	
5°C	Cilindros (1.8 x 5 cm)	70.591b	72.769b	71.71ab
5°C	Cilindros (1.8 x 2 cm)	72.702b	72.318b	69.24a
5°C	Discos (1.8 x 0.5 cm)	72.238b	73.007b	71.71ab
2°C	Cilindros (1.8 x 5 cm)	71.470b	71.991b	75.49b
2°C	Cilindros (1.8 x 2 cm)	74.544b	73.494b	73.10ab
2°C	Discos (1.8 x 0.5 cm)	70.757b	72.491b	70.11a

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

Anexo 1.7. Análisis estadístico del ángulo de matiz de la jícama mínimamente procesada almacenada a diferentes temperaturas.

Tratamiento	Figura	Día 8	Día 12	Día 16
10°C	Cilindros (1.8 x 5 cm)	83.768a	78.045a	
10°C	Cilindros (1.8 x 2 cm)	82.369a	80.789a	
10°C	Discos (1.8 x 0.5 cm)	82.674a	81.457a	
5°C	Cilindros (1.8 x 5 cm)	102.91b	96.131b	95.950a
5°C	Cilindros (1.8 x 2 cm)	102.92b	102.67bc	100.58ab
5°C	Discos (1.8 x 0.5 cm)	105.91bc	101.53bc	97.847ab
2°C	Cilindros (1.8 x 5 cm)	104.51bc	103.32c	104.05ab
2C	Cilindros (1.8 x 2 cm)	104.44bc	104.17c	105.05ab
2C	Discos (1.8 x 0.5 cm)	107.40c	107.25d	105.80b

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

Anexo 1.8. Análisis estadístico de la concentración de azúcares (g/ 100 g peso fresco) de la jícama mínimamente procesada almacenada a diferentes temperaturas.

Temperatura	Figura	Día 4	Día 8	Día 12	Día 16
10°C	Cilindros (1.8 x 5 cm)	10.460b	8.5333ab	8.2333a	
10°C	Cilindros (1.8 x 2 cm)	6.41a	8.2333ab	8.800ab	
10°C	Discos (1.8 x 0.5 cm)	7.3667a	7.400ab	7.4333a	
5°C	Cilindros (1.8 x 5 cm)		6.8333a	7.7333a	4.9333a
5°C	Cilindros (1.8 x 2 cm)		10.933b	8.600ab	4.6667a
5°C	Discos (1.8 x 0.5 cm)		9.4333ab	6.9000a	5.7667a
2°C	Cilindros (1.8 x 5 cm)		6.5667a	9.2000ab	9.6667b
2°C	Cilindros (1.8 x 2 cm)		7.2333ab	11.703b	10.067b
2°C	Discos (1.8 x 0.5 cm)		7.8333ab	9.333ab	8.600b

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

Anexo 1.9. Comparación de medias del contenido de fenoles (mg catequina/ g materia liofilizada) de la jícama mínimamente procesada almacenada a diferentes temperaturas.

Tratamiento	Figura	Día 8	Día 12	Día 16
10°C	Cilindros (1.8 x 5 cm)	22.343cd	38.0h	
10°C	Cilindros (1.8 x 2 cm)	21.533bc	19.247b	
10°C	Discos (1.8 x 0.5 cm)	18.820a	25.773d	
5°C	Cilindros (1.8 x 5 cm)	24.287de	30.550f	12.243a
5°C	Cilindros (1.8 x 2 cm)	22.150cd	23.620c	13.840b
5°C	Discos (1.8 x 0.5 cm)	19.330ab	16.270a	14.173b
2°C	Cilindros (1.8 x 5 cm)	38.0g	33.990g	26.180d
2°C	Cilindros (1.8 x 2 cm)	26.18e	38.0h	12.070a
2°C	Discos (1.8 x 0.5 cm)	34.243f	27.523e	17.870c

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

ANEXO 2

Anexo 2.1. Análisis estadístico de la calidad visual de jícama mínimamente procesada tratada térmicamente.

Tratamiento	Temperatura °C	Día 8	Día 20
Control	10	3.6a	
50°C, 2 min	10	4.8a	
Control	5	8b	1a
50°C, 2 min	5	8b	1a
Control	2	8b	5.0932b
50°C, 2 min	2	8b	5b

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

Anexo 2.2. Análisis estadístico del oscurecimiento de jícama mínimamente procesada tratada térmicamente.

Tratamiento	Temperatura °C	Día 8	Día 20
Control	10	3c	
50°C, 2 min	10	2.1b	
Control	5	1a	2b
50°C, 2 min	5	1a	2b
Control	2	1a	1a
50°C, 2 min	2	1a	1a

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

Anexo 2.3. Análisis estadístico de la pudrición macroscópica de jícama mínimamente procesada tratada térmicamente.

Tratamiento	Temperatura °C	Día 8	Día 20
Control	10	2b	
50°C, 2 min	10	2ba	
Control	5	1a	3b
50°C, 2 min	5	1a	3b
Control	2	1a	1a
50°C, 2 min	2	1a	1a

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

Anexo 2.4. Análisis estadístico del sabor de jícama mínimamente procesada tratada térmicamente.

Tratamiento	Temperatura °C	Día 8	Día 16	Día 20
Control	10	3.b		
50°C, 2 min	10	3b		
Control	5	2a	2a	2b
50°C, 2 min	5	2a	2a	2b
Control	2	2a	2a	2a
50°C, 2 min	2	2a	2a	2a

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

Anexo 2.5. Análisis estadístico de la cromaticidad de jícama mínimamente procesada tratada térmicamente.

Tratamiento	Temperatura °C	Día 8	Día 12	Día 16	Día 20
Control	10	8.5827a			
50°C, 2 min	10	10.714c			
Control	5	8.2651a	9.9981c	14.644b	15.874c
50°C, 2 min	5	8.3444a	9.2544b	16.157c	13.884b
Control	2	8.6538a	8.2888a	9.2727a	10.870a
50°C, 2 min	2	9.1952b	8.9698b	8.9605a	10.163a

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

Anexo 2.6. Análisis estadístico de la distancia al punto de ruptura (mm) y la fuerza de penetración (N) de jícama mínimamente procesada tratada térmicamente.

Tratamiento	Temperatura °C	Día 8	Día 12	Día 16	Día 20
Control	10	1.2410ab			
50°, 2 min	10	1.5355b			
Control	5	1.5251b	1.4433b	1.2247a	3.2856b
50°C, 2 min	5	1.3237ab	1.8463d	2.4024d	4.0352c
Control	2	1.0772a	1.0912a	1.7691c	2.9315ab
50°C, 2 min	2	1.1141a	1.6163c	1.5013b	2.4270a

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

Tratamiento	Temperatura °C	Día 8	Día 12	Día 16	Día 20
Control	10	14.679a			
50°C, 2 min	10	17.398bc			
Control	5	16.859b	15.097a	15.017a	10.533a
50°C, 2 min	5	17.391bc	18.691b	16.938b	19.364bc
Control	2	18.028c	14.668a	17.969c	19.975c
50°C, 2 min	2	15.360a	18.351b	16.688b	18.563bc

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