

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE QUÍMICA

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

MAESTRÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

**OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE CONSERVACIÓN DE JÍCAMA MÍNIMAMENTE
PROCESADA POR ENVASADO EN ATMÓSFERAS MODIFICADAS (MAP)**

TESIS

QUE COMO PARTE DE LOS REQUISITOS PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS

PRESENTA

I.B.Q. Ana Caren Rivera Rangel

DIRIGIDA POR

Dr. Edmundo Mercado Silva

SANTIAGO DE QUERÉTARO, QUERÉTARO, ENERO 2015



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Química
Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos

OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE CONSERVACIÓN DE JÍCAMA
MINIMAMENTE PROCESADA POR ENVASADO EN ATMÓSFERAS
MODIFICADAS (MAP)

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestro en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Presenta:

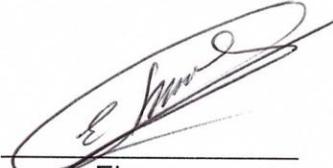
IBQ. Ana Caren Rivera Rangel

Dirigido por:

Dr. Edmundo Mateo Mercado Silva

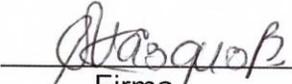
SINODALES

Dr. Edmundo Mateo Mercado Silva
Presidente



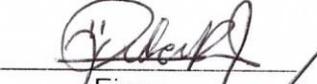
Firma

Dra. Ma. Estela Vázquez Barrios
Secretario



Firma

Dra. Dulce María Rivera Pastrana
Vocal



Firma

Dra. Rosalía Reynoso Camacho
Suplente



Firma

Dra. Sofía María Arvizu Medrano
Suplente



Firma



M.S. Sergio Pacheco Hernández
Director de la Facultad



Dr. Irineo Torres Pacheco
Director de Investigación y Posgrado

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Enero, 2015
México

EL PRESENTE TRABAJO SE DESARROLLÓ EN EL LABORATORIO DE FISIOLÓGÍA POSCOSECHA DE FRUTAS Y HORTALIZAS DEL DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO DE LA UNIVERSIDAD ATÓNOMA DE QUERÉTARO BAJO LA DIRECCIÓN DEL DR. EDMUNDO MERCADO SILVA.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Edmundo Mercado Silva por su apoyo durante el desarrollo de la investigación, por todas sus aportaciones para hacer mejor este trabajo, por todas sus aportaciones para la escritura de la tesis y por compartir sus conocimientos durante estos 2 años de aprendizaje.

A la Dra. Ma. Estela Vázquez Barrios por ser un gran pilar de apoyo durante todo el desarrollo de la investigación, así como por todas sus enseñanzas tanto a nivel académico como personales que me hicieron crecer y reflexionar como persona, gracias por sus buenos consejos.

A la Dra. Dulce por compartir sus conocimientos que ayudaron a mejorar y enriquecer este trabajo, le agradezco su apoyo y disposición durante todo el desarrollo de la investigación.

A la Dra. Sofía Arvizu por su apoyo y colaboración en el desarrollo experimental así como con sus aportaciones en la escritura de este trabajo y a la Dra. Rosalía de igual forma por sus aportaciones en el escrito.

A la Dra. Norma Rojas y a su estudiante de doctorado Ginesa, así como al Dr. Eduardo Morales y Ceci por su disposición para permitirme llevar a cabo parte de la experimentación del trabajo en CICATA.

A Paty, Francisco y Jimena que estuvieron por su ayuda en las largas y difíciles tareas que se presentaban en la experimentación. Les doy las gracias por todo su apoyo, por ser mis amigos y por hacerme sonreír.

A mis hermanos, compañeros y “roomies” Ross y Lui por todos los momentos extraordinarios que compartimos juntos, por estar conmigo en las buenas y en las malas, por los momentos de estudio, por los momentos de carcajadas y locuras y lo más importante les doy gracias por ser mis amigos incondicionales desde el primer momento en que nos unimos.

A Dalia y David por compartir consejos y enseñanzas, gracias por su apoyo durante el trabajo.

A mis otros amigos también favoritos que tiene un lugar enorme en mi corazón y que participaron directamente y con mucha disposición en este trabajo

Angie, Elizabeth, Silvia, Elier, Javi “huamiche”, a mis otros amigos que indirectamente me apoyaron brindándome su amistad, Germán y Liz.

Al equipo del laboratorio de microbiología, Carmen y la Sra. Martha, gracias por sus enseñanzas y consejos así como su apoyo durante mi estancia en el laboratorio.

A mis padres por ser el primer motivo de mi inspiración para seguir creciendo personalmente y académicamente, son lo mejor del mundo, sin ustedes no hubiera sido posible llegar hasta donde estoy. Les doy las gracias por estar a mi lado en las buenas y en las malas siempre con un buen consejo para compartir, y por alentarme a seguir mis sueños. LOS AMO.

Gracias Bastián por ayudarme a creer en mí, por compartir conmigo consejos y experiencias que me impulsaron a seguir y por tu ayuda para hacer algunas cosas más fáciles. Gracias por hacerme súper feliz, Je t'aime.

A mis compañeros de trabajo Freddy, Luci, Carlos y Migue por toda su paciencia durante estos meses, gracias por ser mis maestros de cromatografía, me siento muy afortunada de trabajar con personas como ustedes.

Gracias a la facultad de Química y a todos los profesores por el apoyo en mi formación académica.

Finalmente gracias a CONACYT por el apoyo económico en mis estudios de maestría.

RESUMEN

La jícama mínimamente procesada enfrenta problemas de deterioro que disminuye su vida de anaquel a menos de 8 días a 5°C. El objetivo de este trabajo fue implementar el empaqueo en atmósferas modificadas y pretratamientos de ácido salicílico para mejorar la conservación de jícama mínimamente procesada. Se llevaron a cabo dos experimentos: en el primer experimento, la jícama mínimamente procesada (cultivada en Morelos, México) se empacó en atmósferas modificadas pasiva (R: aire) y activa (M: 5% de CO₂ en aire) en 4 tipos de empaque con diferente tasa de transmisión al oxígeno (E1= 381, E2= 3875, E3= 5100 y E4= >5000 cm³m⁻²·día⁻¹), se almacenaron a 5 y 10 °C durante 16 y 12 días respectivamente. En el segundo experimento la jícama mínimamente procesada (cultivada en Nayarit México) se trató con ácido salicílico (AS) (3 mM), y se empacó en las mismas atmósferas modificadas en el empaque E1 y se almacenó 12 días a 5 °C. Se llevaron a cabo análisis fisicoquímicos, microbiológicos y evaluaciones sensoriales. En todos los tratamientos almacenados a 5 °C se observó menor producción de CO₂, debido a una disminución en la tasa de respiración. Se observó un nivel de daño mecánico considerable en el tejido. El crecimiento de BAL se incrementó significativamente a partir de los 4 días mostrando una carga $\geq 5.8 \log$ (UFC g⁻¹), siempre mayor con respecto a BMA. El porcentaje de liberación de electrolitos incrementó durante el almacenamiento (de 20 a 50 %) indicando daño por frío. Tanto el daño mecánico como el almacenamiento en frío facilitaron los cambios en la calidad del producto por lo que el uso de diferente empaques así como las atmósferas modificadas no lograron incrementar la vida de anaquel. El tratamiento de la jícama (cultivada en Nayarit, México) con AS en atmósfera R disminuyó la tasa de respiración y el crecimiento de BAL (<3 log UFC g⁻¹) respecto a los tratamientos sin AS. El nivel de daño mecánico en el tejido fue notablemente menor. El porcentaje de liberación de electrolitos en la jícama cultivada en Nayarit se mantuvo constante durante 8 días (21%) en contraste con la de Morelos. No se observaron diferencias significativas en la actividad de PAL, esta se mantuvo constante en el tiempo de almacenamiento. La actividad de PPO incrementó durante el almacenamiento, el tratamiento ASR a los 8 días mostró la mayor actividad. La actividad de POD disminuyó, el tratamiento ASR mostró la menor actividad. La concentración de fenoles incrementó siendo menor en ASR. Parece ser que un menor daño mecánico ayudó a conservar la calidad de la jícama en mejor forma siendo este un factor importante a controlar en el proceso industrial para reducir las respuesta de daño.

Palabras clave: jícama mínimamente procesada, empaqueo en atmósferas modificadas, ácido salicílico, daño mecánico, daño por frío, conservación.

SUMMARY

Minimally processed jicama faces some deterioration problems which decrease its shelf life less than 8 days at 5 ° C. The objective of this work was to implement the modified atmosphere packaging and salicylic acid treatments to maintain the quality of minimally processed jicama. Two experiments were performed: in the first experiment, the minimally processed jicama (grown in Morelos, Mexico) was packed in modified passive (R: air) and active atmosphere (M: 5% CO₂ in air) with 4 types of packages with different oxygen transmission rate (E1 = 381 = 3875 E2, E3 and E4 = 5100 => 5000 cm³m⁻²day⁻¹), they were stored at 5 and 10 ° C for 16 and 12 days respectively. In the second experiment the minimally processed jicama (grown in Nayarit, Mexico) was treated with salicylic acid (SA) (3 mM) and packed in the same modified atmosphere in package E1 and stored 12 days at 5 ° C. Physicochemical analyzes, microbiological and sensory evaluations were performed. In all treatments stored at 5 ° C lower CO₂ production was observed due to a decrease in the rate of respiration. A considerable degree of mechanical damage was observed in the tissue. The content of BAL increased significantly after 4 days showing a load $\geq 5.8 \log$ (CFU g⁻¹), always greater respected to BMA. The electrolyte leakage percentage in Morelos jicama increases during storage (from 20 to 50%) indicating chilling injury. Not only mechanical damage but also cold storage promote changes in product quality so the use of different packaging and modified atmosphere do not accomplished increasing shelf life. Fresh-cut jicama (grown in Nayarit) treated with AS and in atmosphere R decreased respiration rate and LAB growth (<3 log CFU g⁻¹) compared to those receiving treatments without AS. The degree of mechanical tissue damage was significantly lower. The electrolyte leakage percentage in Nayarit jicama was constant for 8 d (21%) in contrast to Morelos jicama. No significant differences were observed in PAL activity, which was constant during storage time. PPO activity increased during storage, the ASR treatment after 8 d showed the highest activity. The POD activity decreased, ASR treatment showed lowest activity. The phenolics content increased, ASR treatment had the lowest values. It seems that a minor mechanical damage helped to maintain the quality of jicama, this is an important factor to control in the manufacturing process in order to reduce damage response.

Keywords: minimally processed jicama, modified atmosphere packaged, salicylic acid, mechanical damage, chilling injury, preservation.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	i
SUMMARY	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS	xvi
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES.	4
2.1. Los productos mínimamente procesados.	4
2.2. Efectos del procesamiento mínimo en la calidad de frutas y hortalizas.	4
2.2.1. Efectos del daño mecánico en la integridad del tejido.	5
2.2.2. Incremento de la tasa de respiración.	5
2.2.3. Oscurecimiento Enzimático.	6
2.2.4. Pérdida de peso del tejido.	9
2.2.5. Crecimiento Microbiano.	11
2.3. Empacado en atmósferas modificadas y sus efectos en frutas y hortalizas mínimamente procesadas.....	12
2.3.1. Disminución del metabolismo respiratorio.	13
2.3.2. Disminución del oscurecimiento del tejido.	14
2.3.4. Retención de agua y firmeza del producto.	15
2.3.5. Control del desarrollo microbiano.	15
2.3.2. Tipos de empaques.	16
2.4. La jícama como producto mínimamente procesado.	16
2.5 Cambios en la calidad fisicoquímica de la jícama durante su almacenamiento a bajas temperaturas.	18

2.6. El ácido salicílico como alternativa para el control del daño por frío y el mantenimiento de la calidad en frutas y hortalizas.	19
2.7. Problemática actual en la producción de jícama mínimamente procesada a nivel industrial.	21
2.7.1. El empaque.	21
2.7.2. Análisis microbiológico del producto.	22
2.8. Selección de películas plásticas para el empacado en atmósferas modificadas de jícama mínimamente procesada.	23
3. JUSTIFICACIÓN.	25
4.OBJETIVO GENERAL.	26
5. OBJETIVOS ESPECIFICOS.	26
6. MATERIALES Y MÉTODOS.	27
6.1. Origen de la Raíz.	27
6.2. Empacado de la jícama mínimamente procesada en atmósferas modificadas.	27
6.3. Estrategia experimental.	31
6.3.1. Primera etapa. Plan experimental para el estudio del efecto de diferentes tipos de películas plásticas con diferente tasa de transmisión de oxígeno y el EAM en la calidad de la jícama mínimamente procesada.	32
6.3.2. segunda etapa. Efecto del pre tratamiento con ácido salicílico y empacado en atmósferas modificadas en la calidad de jícama mínimamente procesada.	35
6.4. Evolución del contenido de CO ₂ y O ₂ en el espacio de cabeza durante el almacenamiento de jícama mínimamente procesada.	37
6.5. Cuantificación de bacterias mesófilas aerobias y bacterias ácido lácticas.	39
6.6. Análisis fisicoquímicos.	41
6.6.1. Evaluaciones subjetiva de la calidad.	41
6.6.2. Evaluación de los cambios de la textura.	42
6.6.3. Determinación del color.	42

6.6.4. Determinación de sólidos solubles totales.	44
6.6.5. Determinación de materia seca.....	44
6.6.6. Liberación de electrolitos.....	44
6.7. Cuantificación de la actividad enzimática	45
6.7.1 Actividad enzimática de fenil alanina amonio liasa (PAL).	45
6.7.2 Actividad enzimática de la polifenoloxidasas (PPO).	47
6.7.3 Actividad enzimática de la peroxidasa (POD).	48
6.8. Cuantificación de proteína.	50
6.9. Cuantificación de fenoles totales.	50
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	52
7.1. Primera Etapa. Efecto de las atmósferas modificadas pasivas o activas, el tipo de empaque y la temperatura de almacenamiento en la composición de la atmósfera interna y el desarrollo microbiano de jícama mínimamente procesada.	52
7.1.1 Cambios en la composición de CO ₂ y O ₂ en los envases.....	52
7.1.2. Cambios en los contenidos de BMA y BAL	58
7.1.3. Efecto del tipo de empaque, la atmósfera modificada y de la temperatura de almacenamiento en la calidad sensorial de jícama mínimamente procesada.....	62
7.1.4. Cambios objetivos de textura.	75
7.1.5. Cambios objetivos de color.	78
7.1.8. Cambios en la liberación de electrolitos.	85
7.2. Segunda etapa. Efecto del tratamiento de ácido salicílico (AS), y la aplicación de atmósferas modificadas en la conservación de jícama mínimamente procesada.	88
7.2.1. Cambios en el contenido de CO ₂ y O ₂ en los envases.	89
7.2.2. Evolución del desarrollo de BAL.	91
7.2.3. Efecto de los tratamientos en la calidad sensorial de jícama mínimamente procesada.....	93
7.2.4 Cambios en las características físico químicas del producto.	101

7.2.5. Efecto de los tratamiento sobre la actividad enzimática y la producción de fenoles totales en jícama mínimamente procesada.	107
8. CONCLUSIONES.....	117
9. REFERENCIAS.....	119
ANEXOS	136
APENDICE.....	143

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Pag.
Figura 1.	Aspecto visual de productos mínimamente procesados como factor importante de calidad	5
Figura 2.	Reacción de oxidación de los derivados del catecol para dar o-quinonas (Hernández, 2009)	6
Figura 3.	Ruta general de la biosíntesis de monolignoles a partir de la fenilalanina (Adaptado de Humphreys et al., 1999)	7
Figura 4.	Representación esquemática del modelo aleatorio de formación de lignina a partir del alcohol coniferílico (adaptado de Hatfield y Vermerris 2001)	10
Figura 5.	Ruta de la respiración anaerobia en el tejido vegetal (Taiz y Zeiger, 2010)	14
Figura 6.	Crecimiento de microorganismos indicadores, BMA, BAL y OCT, en jícama mínimamente procesada empacada y almacenada a 10 °C	22
Figura 7.	Apariencia física de la jícama mínimamente procesada empacada en su empaque actual	23
Figura 8.	Estrategia experimental de la primera etapa para el estudio del efecto del EAM pasivas (R: aire) y activas (M: 5% CO ₂ en aire) utilizando empaques con diferente tasa de transmisión al oxígeno (TTO). E1= 381, E2= 3875, E3= 5100 y E4= >5000 cm ³ /m ² ·día	34
Figura 9.	Estrategia experimental para evaluar el efecto del tratamiento con ácido salicílico (AS) y el empacado en atmósferas modificadas (EAM) pasivas (R: aire) y activas (M: 5% CO ₂ en aire) en la calidad de jícama mínimamente procesada.	36
Figura 10.	Diagrama de cromaticidad del espacio de color L*a*b* (a), (b) ubicación de los valores de cromaticidad C* y el ángulo de	43

	matíz (Hue)	
Figura 11.	Reacción de conversión de la fenilalanina a ácido trans cinámico	46
Figura 12.	Reacción de oxidación catalizada por la PPO sobre el catecol para dar o-quinonas (Hernández-Valdez, 2009)	47
Figura 13.	Reacción de oxidación del ABTS (cromógeno) catalizada por la enzima POD utilizando H ₂ O ₂ como molécula aceptora de electrones (Childs y Bardsley, 1975)	49
Figura 14.	Cambios en los contenidos de CO ₂ y O ₂ en el espacio de cabeza de muestras de jícama empacada en bolsas de plástico con diferente tasa de trasmisión al oxígeno almacenados a 5 y 10 °C.	54
Figura 15.	Forma y superficie de corte de piezas de jícama mínimamente procesada a nivel industrial. Se observan superficies de corte no regulares que incrementan el estrés de daño mecánico del tejido	56
Figura 16.	Efecto de la interacción empaque-tiempo de almacenamiento en la concentración de O ₂ presente en el espacio de cabeza de empaques almacenados a 5 y 10 °C.	57
Figura 17.	Evolución del crecimiento microbiano de BMA y BAL en jícama mínimamente procesada empacada en atmósferas modificadas en empaques con diferente tasa de trasmisión al oxígeno y almacenados a 5 y 10 °C.	60
Figura 18.	Interacción empaque-tiempo de almacenamiento en la Calidad visual de jícama mínimamente procesada almacenada a 5 y 10 °C durante 16 y 12 días respectivamente.	63
Figura 19.	Aspecto visual de jícama mínimamente procesada empacada en atmósferas modificadas en diferentes empaques durante su almacenamiento a 5 y 10 °C.	64
Figura 20.	Efecto de la Interacción empaque-tiempo de almacenamiento en el desarrollo de oscurecimiento en jícama mínimamente	67

procesada empacada en diferentes empaques y almacenados a 5 y 10 °C.

- Figura 21. Efecto de la Interacción atmósfera-tiempo de almacenamiento en el desarrollo de oscurecimiento en jícama mínimamente procesada almacenada a 5 °C. 68
- Figura 22. Cambios en la crujencia de jícama mínimamente procesada empacada en atmósferas modificadas, diferentes empaques y almacenadas a 5 y 10 °C. 70
- Figura 23. Desarrollo de viscosidad en la superficie de jícama mínimamente procesada empacada en atmósferas modificadas y almacenada a 5 y 10 °C durante 12 y 16 días respectivamente. 71
- Figura 24. Desarrollo de apariencia viscosa en la superficie de jícama mínimamente procesada empacada en atmósferas modificadas en empaques con diferente tasa de transmisión al oxígeno almacenados a 5 y 10 °C. 72
- Figura 25. Desarrollo de malos olores en la jícama mínimamente procesada empacada en atmósferas modificadas en empaques diferente tasa de transmisión al oxígeno almacenados a 5 y 10 °C. 75
- Figura 26. Evolución de la firmeza de jícama mínimamente procesada empacada en atmósferas modificadas en empaques con diferente tasa de transmisión al oxígeno almacenados a 5 y 10 °C. 77
- Figura 27. Valores del ángulo de matiz (hue) en jícama mínimamente procesada empacada en empaques con diferente tasa de transmisión al oxígeno almacenados a 5 y 10 °C. Hue es el ángulo de matiz. 79
- Figura 28. Contenido de SST (°Brix) en jícama mínimamente procesada empacada en empaques con diferente tasa de transmisión al oxígeno almacenados a 5 y 10 °C. 81

Figura 29.	Evolución de contenido de SST (°Brix) en jícama mínimamente procesada empacada en empaques con diferente tasa de transmisión al oxígeno almacenados a 5 y 10 °C.	82
Figura 30.	Interacción atmósfera-tiempo de almacenamiento en el porcentaje de materia seca de jícama mínimamente procesada empacada en en atmósferas modificadas almacenada a 5 y 10 °C.	84
Figura 31.	Interacción empaque-tiempo de almacenamiento en el porcentaje de materia seca de jícama mínimamente procesada empacada en en empaques con diferente tasa de transmisión al oxígeno almacenados a 5 y 10 °C.	85
Figura 32.	Interacción empaque-tiempo de almacenamiento en el porcentaje de liberación de electrolitos de jícama mínimamente procesada empacada en empaques con diferente tasa de transmisión al oxígeno almacenados 5 y 10 °C.	87
Figura 33.	Cambios en el contenido de CO ₂ y O ₂ en el espacio de cabeza de empaques con jícama mínimamente procesada tratada con ácido salicílico, empacada en atmósferas modificadas y almacenada a 5 °C durante 12 días.	90
Figura 34.	Cambios en las poblaciones de BAL en jícama mínimamente procesada tratada con ácido salicílico (AS), empacada en atmósferas modificadas y almacenada 5°C.	92
Figura 35.	Calidad visual de la jícama mínimamente procesada tratada con ácido salicílico (AS), empacada en atmósferas modificadas y almacenada 5°C.	94
Figura 36.	Calidad visual de jícama mínimamente procesada empacada en atmósferas modificadas en E1 (381 cm ³ /m ² -día) almacenadas 12 días a 5 °C.	95
Figura 37.	Desarrollo de oscurecimiento en la jícama mínimamente	96

	procesada tratada con ácido salicílico (AS), empacada en atmósferas modificadas y almacenada 5°C.	
Figura 38	Pérdida de crujencia jícama mínimamente procesada tratada con ácido salicílico (AS), empacada en atmósferas modificadas y almacenada 5°C.	98
Figura 39.	Desarrollo de viscosidad en la superficie de jícama mínimamente procesada tratada con ácido salicílico, empacada en atmósferas modificadas y almacenada a 5 °C.	99
Figura 40.	Desarrollo de malos olores en la jícama mínimamente procesada tratada con ácido salicílico, empacada en atmósferas modificadas y almacenada a 5 °C.	101
Figura 41.	Cambios en la firmeza (J) objetiva en jícama mínimamente procesada tratada con ácido salicílico, empacada en atmósferas modificadas y almacenada a 5 °C durante 12 días.	103
Figura 42.	Cambios en el valor Hue en jícama mínimamente procesada tratada con ácido salicílico, empacada en atmósferas modificadas y almacenada a 5 °C.	104
Figura 43.	Cambios en el valor Hue en jícama mínimamente procesada tratada con ácido salicílico, empacada en atmósferas modificadas y almacenada a 5 °C.	105
Figura 44.	Cambios en la liberación de electrolitos de jícama mínimamente procesada tratada con ácido salicílico (AS), empacada en atmósferas modificadas y almacenada a 5 °C.	106
Figura 45.	Cambios en la actividad de la fenilalanina amonio liasa (A) en jícama mínimamente procesada tratada con ácido salicílico (AS), empacada en atmósferas modificadas y almacenada a 5 °C.	108
Figura 46.	Cambios en la actividad de la polifenol oxidasa (PPO) total (A) y específica (B) en jícama mínimamente procesada tratada con ácido salicílico (AS), empacada en atmósferas modificadas y almacenada a 5 °C.	110

- Figura 47. Cambios en la actividad de la peroxidasa (POD) total (A) y específica (B) en jícama mínimamente procesada tratada con ácido salicílico (AS), empacada en atmósferas modificadas y almacenada a 5 °C. 112
- Figura 48. Cambios en el contenido de fenoles totales en jícama mínimamente procesada tratada con ácido salicílico (AS), empacada en atmósferas modificadas y almacenada a 5 °C. 115

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla		Pág.
Tabla 1.	Tasa de transmisión al oxígeno para distintas películas plásticas.	17
Tabla 2.	Tasa de transmisión al oxígeno de los diferentes empaques utilizados.	32
Tabla 3.	Diseño con tres factores.	33
Tabla 4.	Diseño con dos factores.	37
Tabla 5.	Condiciones de operación del cromatógrafo de gases.	38
Tabla 6.	Valores de probabilidad y significancia estadística del contenido de CO ₂ y O ₂ en el espacio de cabeza de diferentes empaques con jícama mínimamente procesada.	53
Tabla 7.	Valor p y significancia estadística en el contenido de BMA y BAL.	58
Tabla 8.	Valores de probabilidad de la calidad visual de JMP empacada en diferentes empaques, atmósferas y almacenada a diferentes temperaturas.	63
Tabla 9.	Valores de probabilidad para oscurecimiento de JMP empacada en diferentes empaques y atmósferas modificadas a diferentes temperaturas.	66
Tabla 10.	Valores de probabilidad para pérdida de crujencia de JMP empacada en diferentes empaques y atmósferas modificadas a diferentes temperaturas.	69
Tabla 11.	Valores de probabilidad para consistencia viscosa en la JMP empacada en diferentes empaques y atmósferas modificadas a diferentes temperaturas.	71
Tabla 12.	Valores de probabilidad para desarrollo de malos olores en JMP empacada en diferentes empaques y atmósferas modificadas a diferentes temperaturas.	73
Tabla 13.	Valor p y significancia estadística de los efectos de los factores	76

	estudiados en la firmeza de jícama mínimamente procesada.	
Tabla 14.	Valor p y significancia estadística del ángulo de matiz de jícama mínimamente procesada.	78
Tabla 15.	Valor p y significancia estadística en el contenido de sólidos solubles totales (° Brix) en jícama mínimamente procesada.	80
Tabla 16.	Valores de p y significancia estadística en el porcentaje de materia seca en jícama mínimamente procesada empacada en diferentes empaques y atmosferas modificadas y almacenadas a diferentes temperaturas.	83
Tabla 17.	Valor probabilidad y significancia estadística en el porcentaje de liberación de electrolitos en jícama mínimamente procesada.	86
Tabla 18.	Valores de probabilidad para el contenido de CO ₂ y O ₂ en JMP empacada en un solo empaque y en atmósferas modificadas almacenadas a 5 °C.	89
Tabla 19.	Valores de probabilidad del efecto de los factores en estudio sobre las variables sensoriales en jícama mínimamente procesada tratada con atmosferas modificadas, ácido salicílico y almacenadas 12 días a 5 °C.	93
Tabla 20.	Desarrollo de viscosidad en la superficie de jícama mínimamente procesada tratada con ácido salicílico y almacenada a 5 °C durante 12 días. En la escala de aceptabilidad de desarrollo de viscosidad 1=ninguno y 9=extremo.	100
Tabla 21.	Valores de probabilidad del efecto de los factores en estudio sobre las variables objetivas de calidad en jícama mínimamente procesada tratada con atmosferas modificadas, ácido salicílico y almacenadas doce días a 5 °C.	102
Tabla 22.	Valores de probabilidad del efecto de los factores en estudio sobre las variables objetivas de calidad en jícama mínimamente procesada tratada con atmosferas modificadas, ácido salicílico y almacenadas 12 días a 5 °C.	107

- Tabla 23. Actividad de la peroxidasa en jícama mínimamente procesada 113
tratada con ácido salicílico, empacada en atmósferas
modificadas y almacenada a 5 °C.
- Tabla 24. Concentración de fenoles totales en jícama mínimamente 116
procesada tratada con ácido salicílico y empacada en
atmósferas modificadas almacenada a 5 °C.

ÍNDICE DE ANEXOS

Tabla		Pág.
ANEXO A.	Cromatograma obtenido del material de referencia con una concentración de 5 % de CO ₂ balance en aire.	139
ANEXO B.	Tabla de Abreviaturas generales.	140
ANEXO C.	Escalas visuales de la evaluación subjetiva de la calidad.	141

1. INTRODUCCIÓN.

El consumo de frutas y hortalizas mínimamente procesadas se ha incrementado alrededor del mundo debido a la comodidad que representan para su consumo inmediato como productos frescos y al incremento en la demanda de productos libres de aditivos, provistos de una alta calidad y seguridad.

Los productos mínimamente procesados son preparados usando técnicas simples como lavado, cortado, pelado, deshojado, sanitizado, escurrido o secado ligero y empacados. Su procesamiento implica daño físico del tejido, provocando una serie de respuestas físicas y fisiológicas que incrementan la velocidad de deterioro de estos productos (Cantwell, 1998) por lo que es importante su conservación a bajas temperaturas. Estos productos son empacados con materiales plásticos de cierta permeabilidad a los gases que alterarán la atmósfera inicial generando condiciones de empaqueo en atmósferas modificadas (EAM), teniendo como efecto la reducción en la actividad metabólica y en la pérdida de humedad del producto.

En México, el consumo de jícama se realiza como producto fresco, las raíces se cortan en tiras y se les adiciona jugo de limón y chile, o se puede adicionar en ensaladas mezclada con otras hortalizas. La jícama como producto fresco cortado comercializado por una empresa dedicada al procesamiento mínimo de vegetales, ha tenido problemas de calidad y deterioro microbiano que limita su vida de anaquel a 6 días a 10 °C representando pérdidas económicas durante su comercialización.

El rápido deterioro de algunos productos hortícolas, enteros y mínimamente procesados, puede estar influenciado por diversos factores, uno de ellos son las bajas temperaturas usadas durante el almacenamiento, las cuales pueden inducir una serie de desórdenes fisiológicos y bioquímicos en productos sensibles al daño por frío (como la jícama).

Lo anterior implican un reto importante para la adecuada conservación de estos productos la cual no ha sido enfrentada adecuadamente. En este sentido, se han utilizado moléculas inductoras de respuestas al estrés que podrían significar una alternativa para resolver esta problemática. Por ello, la aplicación de ácido salicílico (AS) puede ser una alternativa con alto potencial para el control del daño por frío y el mantenimiento de la calidad en frutas y hortalizas.

También se ha opinado que el daño del tejido influye de forma directa en el nivel de deterioro de los productos. Una célula vegetal intacta contiene compuestos que pueden estar separados por compartimentos delimitados por membranas semipermeables; el daño mecánico inducido por el corte, daña dichas membranas, y permite que dichos compuestos se liberen y se faciliten las reacciones entre enzimas y sustratos que generan reacciones de deterioro indeseables para el producto o también puede presentarse una respuesta fisiológica del producto hacia el daño infringido, como el incremento en la tasa de respiración, que igualmente genere un deterioro de la calidad del mismo; en este contexto, el oscurecimiento enzimático de vegetales se ha relacionado con el incremento de compuestos fenólicos y su consecuente oxidación y también se ha señalado que puede ocurrir un proceso de lignificación (Aquino-Bolaños y Mercado-Silva, 2004; Mercado-Silva y Aquino-Bolaños, 2005).

El empaquetado en atmósferas modificadas (EAM) implica el conocimiento de la tasa de respiración del producto involucrado, de las concentraciones de gases más adecuadas que permitan una mejor conservación y de las propiedades de permeabilidad al O_2 y al CO_2 de la película que permitan generar la atmósfera más próxima a las condiciones ideales para ese producto, teniendo precaución en la reducción de los niveles de O_2 para evitar la respiración anaerobia del producto. Además, la película plástica debe ser un medio de aislamiento del producto para evitar la contaminación microbiana, asegurando sus condiciones de higiene y limitando la transmisión de vapor de agua. Estudios poscosecha en jícama mínimamente han indicado que el uso de atmósferas controladas altas en CO_2 (5 y

10%) y el almacenamiento a 5 °C ayudaron a retardar efectivamente el crecimiento microbiano y el oscurecimiento en el producto (Aquino-Bolaños *et al.*, 2000).

Actualmente no existen reportes del EAM de jícama mínimamente procesada en empaques con diferente tasa de transmisión al oxígeno (TTO), por ello en este trabajo se pretende implementar el EAM en diferentes empaques con distinta TTO, así como tratamientos de inmersión en ácido salicílico (AS) con el propósito de mantener la calidad e incrementar la vida en este producto.

2. ANTECEDENTES.

2.1. Los productos mínimamente procesados.

El procesado mínimo de frutas y hortalizas incluye operaciones de preparación no térmicas como lavado, sanitizado, pelado, recorte, cortado, rallado, triturado, desinfección, enjuague, escurrido y secado (Artés *et al.*, 2007), los cuales serán empacados y refrigerados para ser productos listos para su consumo. Se requieren bajas temperaturas durante su almacenamiento con la finalidad de garantizar la seguridad y conservación del alimento, así como para mantener tanto como sea posible las características de frutas y verduras como si estuvieran frescas (Manvell, 1997).

Las propiedades visuales de las frutas y vegetales frescos cortados son uno de los parámetros más importantes para evaluar la calidad total del producto por los consumidores (Figura 1). La observación del producto a través del envase, permite evaluar la ausencia o presencia de oscurecimiento enzimático en las superficies de corte, coloración amarillenta de verduras de color verde y color pálido de verduras brillantes), daños mecánicos así como el deterioro microbiano; otras características de calidad incluyen el aroma, sabor y valor nutritivo (Artés y Artés-Hernández, 2003). (Bolin y Huxsoll, 1991a; Jacxsens *et al.*, 2003; Varoquaux y Wiley, 1994).

2.2. Efectos del procesamiento mínimo en la calidad de frutas y hortalizas.

Los productos mínimamente procesados (MP) tienen numerosos retos de calidad y problemas de seguridad que deben ser abordados tecnológicamente, por ello es importante identificar los principales cambios físicos, fisiológicos y en el desarrollo microbiano que tienen lugar durante su almacenamiento.



Figura 1. Aspecto visual de productos mínimamente procesados como factor importante de calidad.

2.2.1. Efectos del daño mecánico en la integridad del tejido.

El daño mecánico se produce por golpes, abrasiones, pelado y corte del producto, como consecuencia se pierde integridad celular, afectando la compartimentalización interna que separa las enzimas de sus sustratos y provocando la pérdida de fluidos internos. Por ello los tejidos que sufrieron estos daños físicos, serán más perecederos que el producto intacto (Artés *et al.*, 2007).

2.2.2. Incremento de la tasa de respiración.

Las heridas generadas por el corte del tejido provocan un incremento en la tasa de respiración y producción de etileno debido al incremento en la actividad metabólica en respuesta a la demanda de metabolitos necesarios para la cicatrización, en comparación de los productos intactos. Este fenómeno ha sido observado en lechuga, melón, tomate, apio y col, entre otros (Varoquaux y Wiley, 1994; Cantwell y Suslow, 2002; Gómez y Artés, 2005; Aguayo *et al.*, 2004; Martínez *et al.*, 2005). Del mismo modo, el tamaño de las piezas del producto tiene una relación directa en la vida de anaquel, es decir a menor tamaño menor vida de

anaquel; en lechuga mínimamente procesada se reportó una mayor tasa de respiración y producción de etileno a menor tamaño de los cortes de la hoja, lo que a su vez estimula la síntesis de enzimas involucradas en el oscurecimiento (Hyodo et al., 1978; Martínez et al., 2005).

2.2.3. Oscurecimiento Enzimático.

Una de las principales causas de la pérdida de calidad y el mayor reto en las frutas y hortalizas frescas cortadas, es el oscurecimiento enzimático (Weller et al, 1997;. Eissa et al, 2006;. Toivonen y Delaquis, 2006). El mecanismo general que explica el oscurecimiento en los tejidos vegetales se asocia a un proceso de oxidación de los compuestos fenólicos. En presencia de O₂, la enzima polifenol oxidasa (PPO) (EC 1.14.18.1 o EC 1.10.3.2) puede oxidar estos compuestos a quinonas las cuales simultáneamente pueden polimerizarse formando melaninas (Siriphanich y Kader 1985) (Figura 2), compuestos que habitualmente se incrementan en respuesta al daño por corte (Ke y Saltveit, 1989), estas compuestos muestran una coloración marrón, rojiza o negra (Castañer *et al.*, 1996).

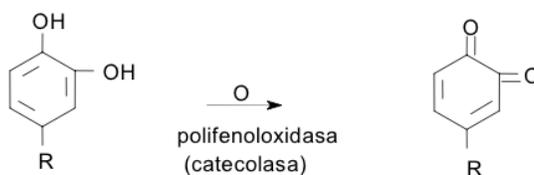


Figura 2. Reacción de oxidación de los derivados del catecol para dar o-quinonas (Hernández, 2009).

La biosíntesis de compuestos fenólicos inicia con la desaminación de la fenilalanina por acción de la fenilalanina amonio liasa (PAL) (Figura 3), su actividad esta situada en un punto intermedio entre el metabolismo primario y secundario, por lo que la reacción catalizada por esta enzima es una etapa reguladora importante en la formación de muchos de estos compuestos.

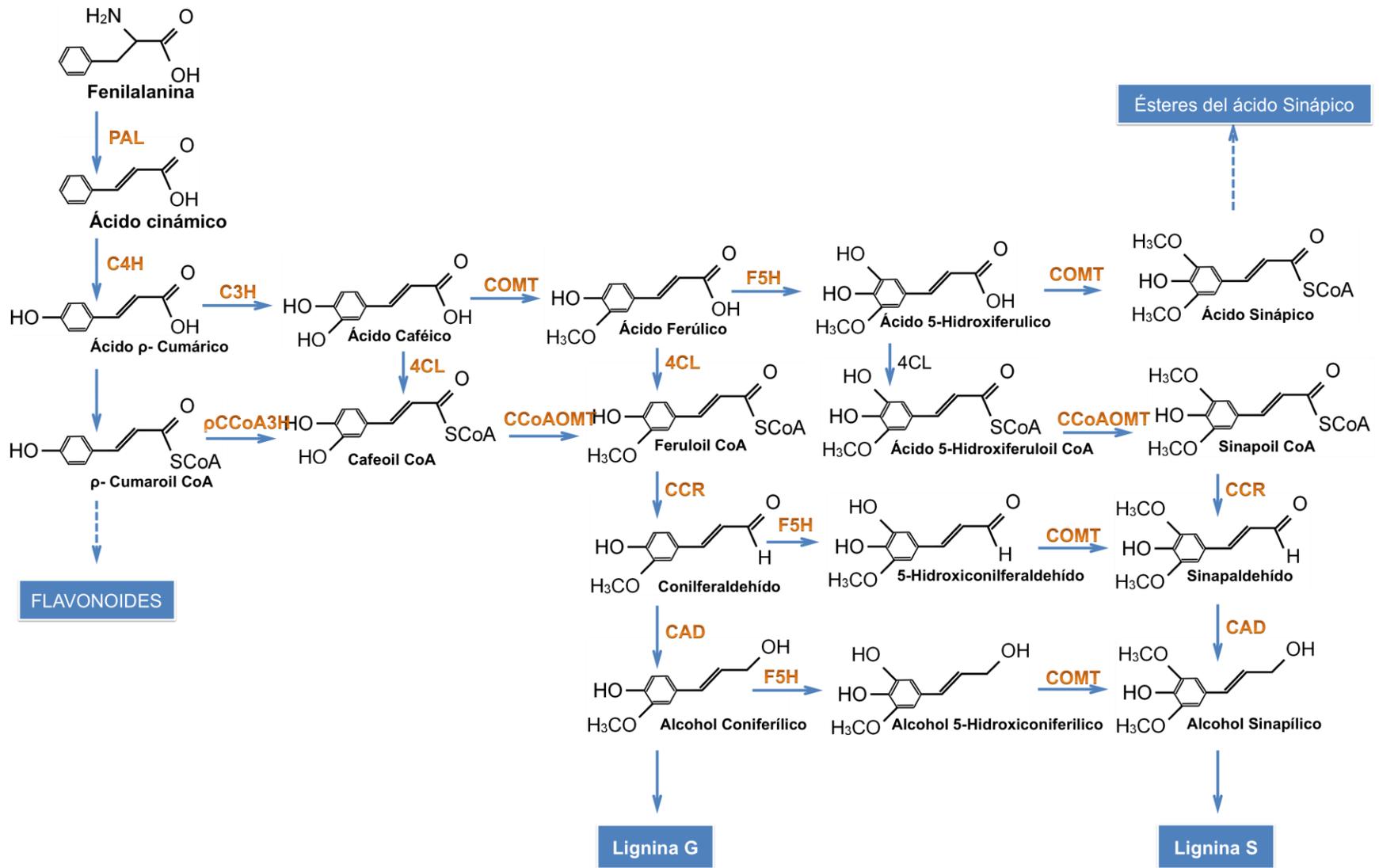


Figura 3. Ruta general de la biosíntesis de monolignoles a partir de la fenilalanina (Adaptado de Humphreys *et al.*, 1999).

El ácido trans-cinámico, ácido *p*-cumárico y sus derivados como ácido caféico, son fenilpropanoides simples que son precursores de moléculas más complejas como cumarinas, ligninas, entre otras (Taiz y Zeiger, 2010).

También se ha descrito la síntesis de compuestos fenólicos en el proceso de lignificación como respuesta al daño mecánico para desencadenar los procesos de cicatrización de estos productos, así como por el ataque de algún patógeno. En las heridas generadas durante el procesamiento mínimo (corte, pelado, picado, etc.) se incrementará la producción de especies reactivas de oxígeno (ERO) (Orozco-Cárdenas et al., 2001), como $O^{\cdot -}$ y H_2O_2 que funcionan como señalizadores para activar las respuestas de defensa y también son requeridas en el proceso de lignificación del tejido (Buchanan *et al.*, 2001). Aquino-Bolaños (2004) describe que la biosíntesis de lignina también está relacionada con el desarrollo de oscurecimiento del tejido en jícama mínimamente procesada.

Desde el punto de vista químico las ligninas son polímeros de compuestos fenólicos formados por tres alcoholes hidroxicinámilicos (monolignoles): *p*-cumárico, coniferílico y sinapílico. Estos monolignoles también forman enlaces con otros polímeros de la pared celular (Whetten *et al.*, 1998) que dan soporte y protección a la planta. En plantas gimnospermas, la lignina se deriva principalmente del alcohol coniferílico y en menor medida de alcohol *p*-cumárico.

La biosíntesis de monolignoles necesarios para el proceso de lignificación inicia a partir del metabolismo de los fenil propanoides (Figura 3).

Se considera que el ácido caféico es metilado para formar ácido ferúlico por medio de la enzima ácido cafeico-Ometil transferasa (COMT: EC 2.1.1.68) (Humphreys *et al.*, 1999) usando S-adenosil metionina como grupo donador del grupo metilo, la metilación limitará la reactividad del grupo 3-hidroxilo y reduciendo el número de sitios sobre el anillo aromático que pueden formar enlaces con otras moléculas de monolignoles durante la polimerización (Aquino-Bolaños, 2002). La hidroxilación del ferulato a 5-hidroxiferulato está catalizada por la enzima ferulato

5-hidroxisilasa (F5H), reacción que será un paso esencial para la formación del alcohol sinapílico.

En adición a esto la enzima 4-cumarato Coa ligasa (4CL; EC 6.2.1.12) cataliza la formación de tioesteres CoA de ácidos hidroxicinámicos en un amplia variedad de derivados fenólicos. La enzima cinamoil-CoA (CCR; EC. 1.2.1.44) cataliza la reducción de tioesteres de hidroxicinamoil-CoA a los correspondientes aldehídos.

La reducción de hidroxicinamaldehídos a los alcoholes hidroxicinamílicos está catalizada por la enzima cinamil alcohol deshidrogenasa (CAD; EC 1.1.1.195). El proceso de lignificación continua con el transporte de los monolignoles a la pared celular que serán polimerizados en la molécula de lignina final. Durante la biosíntesis de lignina las peroxidasas tienen un papel importante, estas enzimas promueven el acomplamiento de los monolignoles a través de la formación de radicales dependientes de H₂O₂ que después de pasos sucesivos de reoxidación forman la lignina (Figura 4) (Hatfield y Vermerris, 2001).

2.2.4. Pérdida de peso del tejido.

La pérdida de peso en la mayoría de las frutas y hortalizas frescas cortadas ha sido atribuida a un incremento en la tasa de transferencia de agua que se difunde a través del tejido, debido al agua liberada de las vacuolas en las células dañadas durante el proceso de corte, así como a la pérdida de vapor de agua de la superficie de la fruta a la atmósfera circundante en el envase (Artés *et al.*, 2007). En algunas ocasiones la pérdida de agua disminuirá la turgencia del el tejido por lo que el producto tendrá una apariencia flácida y marchita (Artés *et al.* 2007) por lo que la adecuada selección del empaque de un material polimérico adecuado, puede reducir la pérdida de peso en el producto, debido a que proporciona una barrera a la difusión del vapor de agua generando una atmósfera saturada de vapor (Kader, 1989).

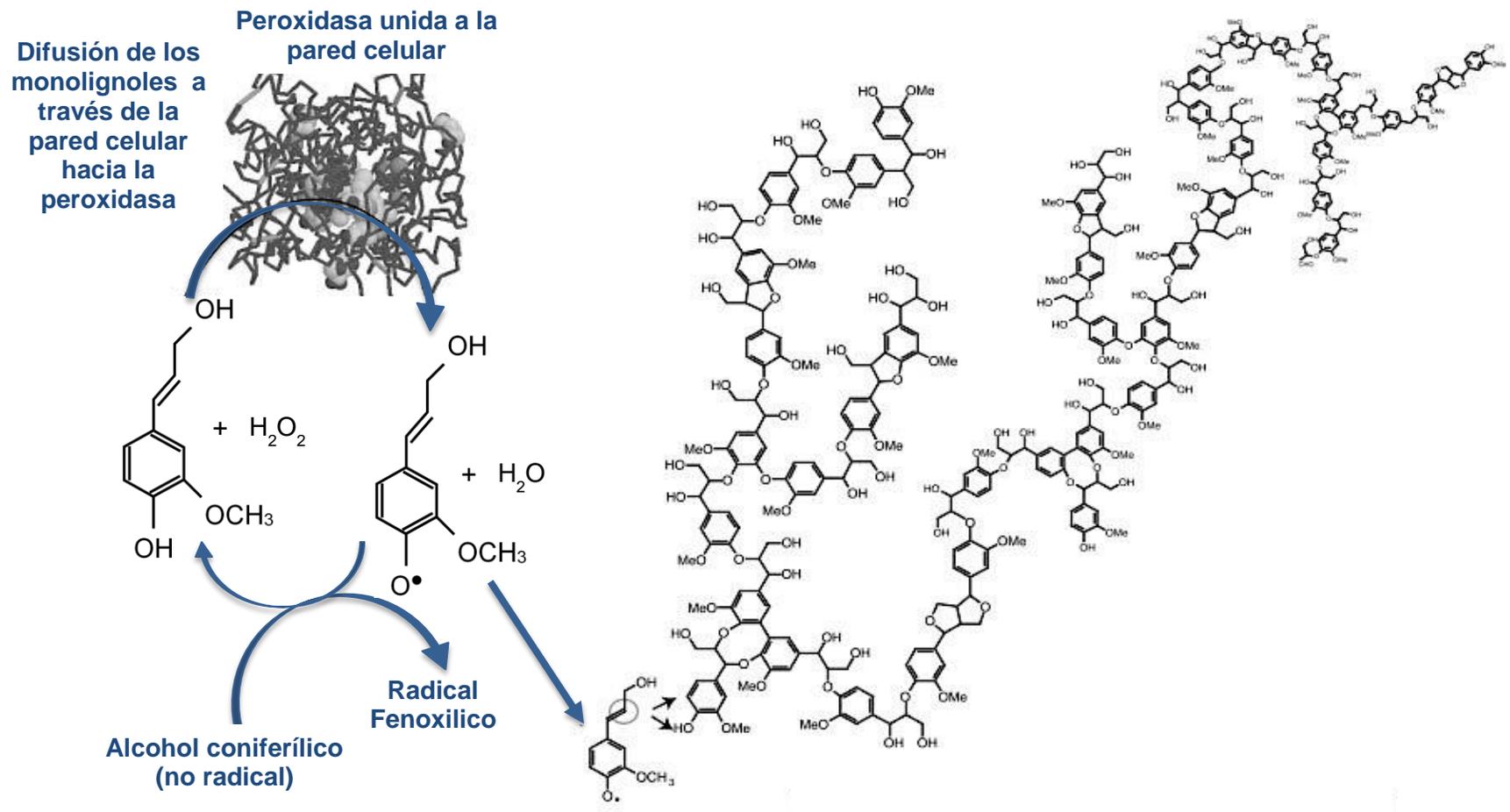


Figura 4. Representación esquemática del modelo aleatorio de formación de lignina a partir del alcohol coniferílico (adaptado de Hatfield y Vermerris 2001).

2.2.5. Crecimiento Microbiano.

La actividad microbiana es la principal causa de deterioro de productos frescos cortados (Babic *et al.*, 1996), ya que durante el lavado e inmersión en agua clorada sólo se eliminan parcialmente los microorganismos del alimento (Garg *et al.*, 1990). La presencia de células dañadas y la pérdida de los componentes celulares del producto durante las operaciones de procesamiento, proporcionan nutrientes que pueden ser empleados para el desarrollo por bacterias, hongos y levaduras. Por ello es esencial lavar, centrifugar o secar con aire frío el producto elaborado con el fin de disminuir la humedad de la superficie; sin embargo, se deben evitar la deshidratación, desecación y abrasión del mismo. Las condiciones de higiene durante la manipulación y procesamiento, así como la temperatura a la cual se elaboran y conservan estos productos serán factores determinantes de la vida de anaquel de los mismos (Bolin y Huxsoll, 1991a).

Algunos microorganismos pueden ser responsables del desarrollo de malos olores, así como de la presencia de sabores desagradables durante el almacenamiento de hortalizas frescas cortadas. El crecimiento de bacterias como las ácido lácticas, puede ser acompañado con la producción de ácidos orgánicos tales como ácido láctico y ácido acético. Las bacterias lácticas son microaerófilas y crecerán más rápidamente a bajas concentraciones de O₂ (ICMSF, 1996). Carlin *et al.* (1989) y Kakiomenou *et al.* (1996) aislaron *Leuconostoc mesenteroides*, como principales bacterias deterioradoras en zanahorias ralladas. *Leuconostoc* spp. son bacterias heterofermentadoras y pueden producir ácido láctico, etanol y CO₂; altas cantidades de levaduras como *Candida* spp (>10⁵ UFC/g). también pueden producir CO₂ , etanol , ácidos orgánicos y ésteres volátiles (Babic *et al.*, 1992) contribuyendo así al desarrollo de malos sabores y olores en los productos.

2.3. Empacado en atmósferas modificadas y sus efectos en frutas y hortalizas mínimamente procesadas.

El empackado en atmósferas modificadas (EAM) es una tecnología que ha sido aplicada para prolongar la vida de anaquel de productos mínimamente procesados al reducir el deterioro físico, químico y microbiológico que tienen lugar, desde la producción hasta el consumo. En la actualidad se dispone en la actualidad de una amplia gama de empaques de diferentes materiales con características diferentes para cubrir la amplia diversidad de demandas específicas de los diferentes productos en las sucesivas fases de manipulación, transporte, almacenamiento y comercialización. Aún con el empackado y la refrigeración, la vida útil de estos productos no va más allá de 15 a 18 días.

El EAM puede ser en pasivo o en activo y se pueden usar en combinación con empaques de distinta tasa de transmisión al oxígeno. El EAM en pasivo consta de una atmósfera inicial de aire mientras que en activo implica una modificación de la composición atmosférica inicial, esta consiste en el reemplazo del aire atmosférico normal por una mezcla de N_2 , O_2 y CO_2 en diferente proporción. En ambos casos, la atmósfera inicial se verá alterada rápidamente por diversos factores como la difusión de los gases a través del material de empaque, el consumo de O_2 y la generación de CO_2 del producto lo cual eventualmente generará una atmósfera modificada, y de acuerdo a la temperatura utilizada (Catalá et al, 2009) se espera que esta atmósfera reduzca la velocidad de respiración, la actividad metabólica, la pérdida de humedad del producto y mejore su vida de anaquel.

La composición óptima de la atmósfera varía de acuerdo al producto y su estado de madurez, así como la temperatura de almacenamiento. En general la concentración de O_2 se recomienda por debajo de la composición del aire, pero nunca inferior a 1%, para evitar el metabolismo fermentativo del tejido (Kader *et al*, 1989;. Kays, 1991; Beaudry, 1999). La cantidad de CO_2 será por lo general más alta que el contenido en el aire, esta condición puede tener un efecto inhibitorio en

la actividad de enzimas que participan en el oscurecimiento enzimático y en el crecimiento microbiano (Catalá *et al.*, 2009).

2.3.1. Disminución del metabolismo respiratorio.

La reducción en los niveles de O_2 que se encuentran en contacto con frutas y hortalizas frescas reduce la tasa de respiración en la misma proporción en que el O_2 se encuentra presente, pero se requiere de un mínimo de 1-3 % de O_2 (dependiendo del producto) para evitar el cambio de respiración aeróbica a anaeróbica (Kader *et al.*, 1986). Bajo condiciones anaerobias, la ruta de la glucólisis toma mayor importancia que el ciclo de Krebs como fuente principal de energía del producto. Durante episodios de anoxia el piruvato producto de la glucólisis es inicialmente fermentado provocando una disminución del pH citosólico, el piruvato es descarboxilado para proporcionar el poder reductor necesario para mantener activa la ruta de glucólisis. Este descenso de pH inhibe la actividad de la enzima lactato deshidrogenasa, la enzima piruvato carboxilasa es activada promoviendo un incremento en la producción de etanol y acetaldehído (Figura 5) (Taiz y Zeiger, 2010), como resultado se tendrá el desarrollo de olores extraños y daño en el tejido. El nivel de O_2 al cual ocurre la respiración anaerobia puede ser tan bajo como 0.2 % dentro de la célula lo cual puede ocurrir por el gradiente de concentración de O_2 desde el exterior del tejido hasta el interior de las células. Dicha condición está dada en función de la tasa de respiración (consumo de O_2) y las características de difusión del tejido dérmico y subdérmico de cada producto en particular (Kader, 1986).

Concentraciones elevadas de CO_2 reducen la tasa de respiración de frutas y hortalizas, pero niveles iguales o mayores de 20 %, también se puede promover la acumulación de etanol y acetaldehído dentro de los tejidos dependiendo del producto y la concentración de O_2 presente. El uso de atmosferas con niveles bajos de O_2 y altos de CO_2 proporcionan un doble beneficio en el mantenimiento de la calidad que cada uno de ellos por sí solo (Kader, 1986).

del metabolismo de compuestos fenólicos. Así mismo el CO₂ puede evitar el oscurecimiento de tejidos dañados bloqueando la producción de nuevos compuestos fenólicos, así como inhibir la actividad de la PPO.

Además, el CO₂ es soluble en agua y si en la superficie del producto existen condensados, la difusividad de este gas se promoverá entre las células y los espacios intracelulares, ya que la solubilidad del CO₂ en agua incrementa a bajas temperaturas, el almacenamiento en frío mostrará mejores efectos del EAM debido a un mayor contenido y difusión de este gas a través del tejido.

2.3.4. Retención de agua y firmeza del producto.

El cambio en la textura se puede atribuir a la pérdida de agua desde las vacuolas de las células dañadas, así como a la pérdida de vapor de agua del producto hacia la atmósfera del empaque. El uso de empaque de alta barrera al vapor de agua dentro del cual será inyectada la atmósfera seleccionada, con frecuencia tiene como resultado una humedad relativa significativamente alta alrededor del producto, lo cual reducirá la pérdida de agua en comparación con el almacenamiento del producto expuesto a la atmósfera regular (Kader, 1986).

El O₂ y CO₂ por lo general pueden tener un efecto significativo sobre la textura de las frutas frescas cortadas, en la medida del control metabólico que ejerzan en el producto, sin embargo, el mantenimiento de un equilibrio de gas adecuado es importante para evitar el daño a los tejidos debido a la toxicidad producida por concentraciones altas de CO₂ o bajas de O₂ (anaeróbicas). Los niveles altos de CO₂ inducen la descomposición del tejido y la formación de grandes cantidades de exudados, estos efectos fueron identificados al observar la formación de gotitas en la superficie celular e inundaciones en los espacios intercelulares de manzanas y peras frescas cortadas (Martín-Belloso y Soliva-Fortuny, 2006).

2.3.5. Control del desarrollo microbiano.

En múltiples estudios se ha evidenciado el efecto fungistático del CO₂ usado en la técnica de empaçado en atmósfera modificada activa; se ha encontrado que altas concentraciones de CO₂ en productos tolerantes como fresas permite el control del desarrollo de hongos (Wills *et al.*, 1998).

Se ha encontrado que con la presencia de una atmósfera modificada es posible reducir el crecimiento de levaduras y bacterias (Amanatidou *et al.*, 1999). Por ejemplo, una atmósfera con niveles elevados de O₂ (80-100 kPa) en MAP, disminuyó la lesión tisular, redujo el crecimiento microbiano y fue benéfica para mantener la calidad de espinaca baby fresca cortada hasta 12 días a 5 ° C (Allende *et al.*, 2004) y en ensaladas mixtas mínimamente procesadas (Allende *et al.*, 2002). También se ha observado que a 50 o 80kPa de O₂ junto con 15 kPa CO₂ ayudaron a mantener los principales atributos de calidad en pimientos mínimamente procesados almacenados 10 días a 5 ° C y se inhibió el crecimiento de microorganismos deterioradores (Conesa *et al.*, 2007).

2.3.2. Tipos de empaques.

Existen diferentes materiales plásticos con una amplia variedad en rangos de tasa de transmisión al oxígeno (TTO), los comúnmente usados son el polietileno de baja densidad (PEBD) y polipropileno (PP) (Exama *et al.*, 1993; Artés *et al.*, 1998). En general, las películas plásticas convencionales (PEBD y PP) presentan permeabilidades al CO₂ en torno a 4 veces superior con respecto al O₂. También los hay para productos con altas tasas de respiración que requieren un intercambio elevado de gases, se han desarrollado materiales con alta tasa de transmisión al oxígeno en un rango de 500 a 1000 cm³/m²·día (Catalá *et al.*, 2009) (Tabla 1).

2.4. La jícama como producto mínimamente procesado.

La jícama (*Pachyrhizus erosus*), es una leguminosa tropical originaria de México y América Central, fue cultivada por los Mayas y Aztecas y los primeros

exploradores españoles y portugueses la llevaron a otros países de Latinoamérica e islas del pacífico como Filipinas desde donde se extendió a Oceanía y Asia.

Tabla 1. Tasa de transmisión al oxígeno para distintas películas plásticas.

Película	Tasa de transmisión al oxígeno (cm³/m²-día)
Polietileno de baja densidad (PEBD)	500-1000
Polipropileno (PP)	
Películas coextruidas multicapa	3000-5500
Poliolefinas multicapa	> 5000

Actualmente se cultiva en México, Brasil, Estados Unidos, China, Indonesia, Filipinas y Nigeria, pero en casi todos los casos se trata de un cultivo subexplotado (Srensen, 1990; Casanueva, 1995; Fernández *et al.*, 1996). En México la producción de jícama se lleva a cabo en 15 estados, sin embargo, es en cuatro donde se concentra el 74.64 % de la producción nacional, estos son: Nayarit, Michoacán, Veracruz y Puebla (SIAP, 2012). Nayarit es el principal estado productor de jícama debido a que aporta el 26.34% de la producción nacional con un valor de producción de \$108,620,350, la superficie destinada para el cultivo es de 1,792 hectáreas de riego y temporal, con rendimiento promedio de poco más de 30 ton/ha (SIAP, 2012). La mayor superficie se cultiva durante el ciclo otoño-invierno, lo que le permite no competir con otros estados productores (Fundación Produce Nayarit, 2012).

El mercado de exportación del producto tiene interés debido al diferencial de precios con el mercado nacional. Tomando como base los precios de febrero 2006, ésta raíz sin transformar se cotizó en California a 0.45 dólares/kg mientras que en el mercado mexicano alcanza 0.33 dólares/kg. No obstante, las utilidades podrían ser mayores si este producto fuera introducido como un producto

mínimamente procesado en el mercado de exportación (Mercado-Silva *et al.*, 2006).

En México, el consumo de jícama se realiza como producto fresco cortado, las raíces se cortan en tiras y se les adiciona jugo de limón, sal y chile, también se utiliza en mezcla de ensaladas con otras verduras; en la preparación de sopas como rebanadas fritas y también se conserva en vinagre con cebolla y chile (Casanueva, 1995).

Como ya se ha mencionado, a nivel nacional existe una costumbre para consumir esta raíz de forma muy parecida a un PMP; no obstante, la tecnología aplicada es muy deficiente que no permite una adecuada vida de anaquel (Mercado-Silva *et al.*, 2006). Existen reportes que dan recomendaciones sobre las mejores condiciones para manejar este producto, Aquino-Bolaños *et al.* (2000), señalaron que 0 y 5 °C fueron las mejores temperaturas para mantener la calidad del producto y que por arriba de esta temperatura se presentan problemas de oscurecimiento y biosíntesis de fenoles; se reportó que las atmósferas controladas con 5 a 10% de CO₂ fueron efectivas para controlar el oscurecimiento y el desarrollo de podredumbres en comparación con atmósferas de bajo contenido de oxígeno (Mercado-Silva *et al.*, 2006). Así mismo, Aquino-Bolaños y Mercado-Silva (2004) indicaron que en jícama cortada, el oscurecimiento se debió principalmente a un proceso de cicatrización de los tejidos al acumularse ligninas.

2.5 Cambios en la calidad fisicoquímica de la jícama durante su almacenamiento a bajas temperaturas.

Para prolongar el tiempo de vida de anaquel de los PMP se utilizan bajas temperaturas que permitan menor actividad metabólica y menor desarrollo microbiano. Estudios poscosecha en jícama han demostrado que la raíz intacta es muy sensible al daño por frío cuando se almacenan a 10 °C o por debajo (Bergsma y Brecht 1992; Cantwell *et al.*, 1992; Mercado-Silva y Cantwell 1998). Los síntomas típicos del daño por frío son el incremento el deterioro externo, cambios de color internos y pérdida de la textura crujiente. El color blanco de la

pulpa es un parámetro de calidad (Cantwell *et al.*, 1992), este se puede ver afectado debido a lesiones por frío y la senescencia que provocan oscurecimiento en la pulpa. La textura crujiente es también un atributo importante de buena calidad de la jícama (Mudahar y Jen, 1991) y el almacenamiento a temperaturas de refrigeración se traduce en pérdida de la crujencia (Mercado-Silva y Cantwell, 1998). El enfriamiento, sin embargo, no afecta la resistencia del tejido a la fuerza de penetración, pero si hay un incremento en la deformación del mismo tejido lo cual es indicativo de la consistencia elástica de la muestra y la consecuente pérdida de la crujencia (Jackman y Stanley, 1995). Sin embargo, otros estudios han indicado que la calidad de la jícama cortada, a diferencia de la hortaliza intacta, se mantiene mejor entre 0-5 °C pues se observa mayor tasa de respiración a 10°C que a 5°C (6-10 y 4-7 mL CO₂/kg-hr respectivamente). Tomando en cuenta que el incremento en la tasa de respiración incrementa la tasa de deterioro en estos productos, se concluyó que 5°C conservará mejor la calidad de la jícama mínimamente procesada (Aquino-Bolaños *et al.*, 2000).

2.6. El ácido salicílico como alternativa para el control del daño por frío y el mantenimiento de la calidad en frutas y hortalizas.

El ácido salicílico (AS), compuesto fenólico natural y seguro, actúa como molécula de señales endógenas, jugando un papel fundamental en la regulación de las respuestas al estrés y los procesos de desarrollo en las plantas. Recientemente ha recibido particular atención por ser una molécula señalizadora clave en la expresión de múltiples formas de resistencia al estrés en la planta (AniAsghari y Aghdam, 2010). Se ha reportado que la aplicación exógena de AS, en concentraciones no tóxicas, en frutas y hortalizas susceptibles puede aumentar la resistencia a los patógenos y el control en el deterioro poscosecha (Asghari *et al.*, 2009; Asghari *et al.*, 2007; Babalar *et al.*, 2007).

Uno de los sistemas de defensa de la planta contra el estrés oxidativo es la eliminación de especies reactivas de oxígeno (ERO), el AS juega un papel muy importante estimulando la síntesis de enzimas antioxidantes e induciendo la

actividad de PAL y PPO que ayudarán a prevenir el estrés oxidativo en poscosecha (Yao and Tian, 2005).

Una respuesta de la planta al estrés abiótico es la síntesis de un grupo de proteínas conocidas como proteínas de choque térmico (HSPs) que le confiere protección, no solo para el estrés que provoca sus síntesis, sino también para otras subsecuentes situaciones de estrés (Tian *et al.*, 2007). Se ha observado que los tratamientos con AS antes del almacenamiento a baja temperatura inducen la biosíntesis de HSPs y, al mismo tiempo, la tolerancia al daño por frío en tomates y melocotones (Ding *et al.*, 2001). De acuerdo a lo anterior, la acumulación de HSPs con tratamientos de AS en productos hortícolas sensibles al daño por frío podría permitir su almacenamiento a bajas temperaturas.

También se ha reportado que el AS reduce efectivamente la tasa de respiración en los productos hortícolas, esto se debe a su efecto sobre la actividad de la oxidasa alterna; en este proceso el AS como señalizador desencadena la inducción de la respiración resistente al cianuro en las células vegetales al afectar la actividad enzimática de la oxidasa alternativa y reduciendo el flujo de electrones a través de la vía del citocromo en el proceso de respiración, esto puede conducir a la disminución de los efectos nocivos de diferentes tipos de estrés oxidativos que ocurren en poscosecha como el daño por frío, además se evita la fermentación y reduce la maduración y senescencia de frutos ayudando a mantener los atributos de calidad por un mayor periodo (Aniasghari y Aghdam, 2010).

La conservación de productos frescos cortados por un mayor periodo es relevante para la industria debido a su impacto económico, por lo que la utilización de agentes naturales como el AS han sido una alternativa actualmente implementada para reducir el deterioro y los síntomas de daño por frío que disminuyen la calidad en los mismos, por lo que resulta relevante conocer los efectos de la aplicación de tratamientos de AS como una alternativa para aliviar los síntomas de estrés de frío en el producto.

2.7. Problemática actual en la producción de jícama mínimamente procesada a nivel industrial.

La jícama es un producto fresco cortado que actualmente es elaborado por una empresa dedicada al ámbito de procesamiento mínimo de vegetales y su comercialización; no obstante la tecnología aplicada en el proceso, los sistemas de buenas prácticas de manufactura y el cuidado en el mantenimiento de la cadena de frío durante su manejo y transporte, generan una serie de problemas de calidad y deterioro microbiano que limitan su vida de anaquel.

La jícama es un producto hortícola sensible al daño por frío y con una alta tasa de respiración durante su almacenamiento a 10 °C, lo anterior acelera su velocidad de deterioro y lo convierte en un producto muy perecedero. Estas condiciones fisiológicas no ha sido enfrentadas adecuadamente implicando un reto importante para su adecuada conservación por lo que hace falta trabajo por realizar en cuanto a métodos de empaqueo en atmósferas activas y control de daño por frío para lograr un producto con una vida de anaquel adecuada que permita el proceso de comercialización en el sistema de manejo convencional.

A continuación se mencionan algunos detalles de la condición actual del producto producido y comercializado a nivel industrial.

2.7.1. El empaque.

La jícama cortada en forma de barra (similar a papas fritas) es empacada en bolsas plásticas flexibles con las siguientes dimensiones: 23.3 cm de largo por 19.9 cm de ancho; el volumen total del empaque es de 1400 mL con capacidad para almacenar 600 g de piezas de jícama, permitiendo un espacio de cabeza de 800 mL. El material de la película plástica actualmente empleada es PP que posee una permeabilidad al oxígeno de $381 \text{ cm}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$. El producto terminado y colocado en cajas de cartón es almacenado durante 3-6 horas en cámaras de refrigeración cuya temperatura oscila entre 5°C y 10°C para posteriormente ser

transportado en refrigeración (2-5 °C) a centros de distribución donde el producto es redestinado a los distintos puntos de venta.

2.7.2. Análisis microbiológico del producto.

El análisis microbiológico del producto en diferentes puntos del proceso de elaboración de la jícama mínimamente procesada indicó una reducción en el contenido de BMA después del proceso de desinfección de 6.61 a 4.25 log (UFC g⁻¹). Sin embargo el contenido de BMA en el producto terminado (3.33 ±0.73 UFC g⁻¹) no se ve objetivamente disminuido a pesar de los diferentes procedimientos de sanidad. En este caso los datos sugieren la necesidad de cambios en la desinfección del producto así como en la limpieza del proceso. Durante el seguimiento de la carga microbiana en el producto terminado almacenado a 10 °C, se encontró una tendencia similar en el desarrollo de bacterias mesófilas aerobias (BMA), bacterias ácido lácticas (BAL) y organismos coliformes totales (OCT), alcanzando valores entre 5 y 7 log (UFC g⁻¹) a los 6 días de almacenamiento (Figura 6). En el producto almacenado a 20 °C, como se esperaba, el desarrollo de los microorganismos fue más acelerado y se alcanzaron poblaciones mayores en la mayoría de los grupos, comparado con el producto a 10 °C.

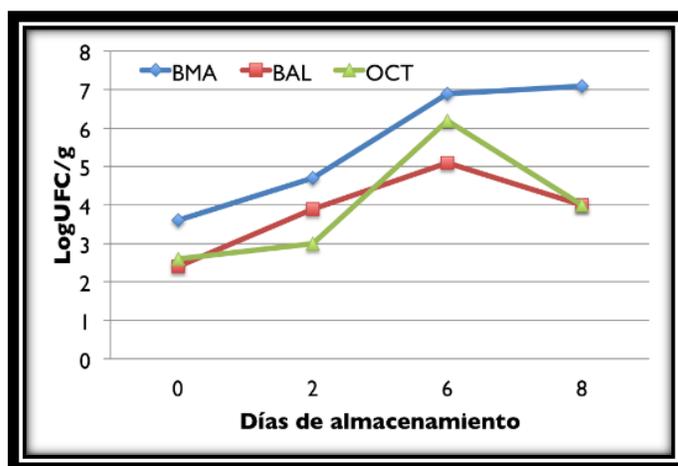


Figura 6. Crecimiento de microorganismos indicadores, BMA, BAL y OCT, en jícama mínimamente procesada empacada y almacenada a 10 °C.

En la jícama almacenada a 10°C durante 6 días se observó la presencia de un exudado, textura viscosa y aspecto desagradable (Figura 7a). También se desencadenaron otras alteraciones como malos olores, el desarrollo de un color amarillo verdoso y acumulación de gas al interior del empaque (Figura 7b). Todo lo anterior indica una evidente apariencia de producto deteriorado.



Figura 7. Apariencia física de la jícama mínimamente procesada empacada en su empaque actual.

Los cambios sensoriales percibidos a los 6 días de almacenamiento se atribuyen principalmente a la carga microbiana encontrada.

2.8. Selección de películas plásticas para el empackado en atmósferas modificadas de jícama mínimamente procesada.

Para la mejor elección del envase se debe tomar en cuenta que la tasa de transmisión al oxígeno (TTO) de cada película plástica se adecue a la demanda de intercambio de gases del producto en diferentes condiciones (Catalá *et al.*, 2009). De acuerdo a los requerimientos fisiológicos de la jícama mínimamente procesada, cuya tasa de respiración es elevada, se ha sugerido su empackado utilizando polímeros con alta TTO, mayor a $381 \text{ cm}^3\text{m}^{-2}\text{día}^{-1}$ (permeabilidad de la película actual), que le permita el intercambio de gases adecuado para propiciar el volumen de O_2 necesario que ayude a retardar los principales problemas de

deterioro del producto, como los que se han descrito previamente y de igual forma han sido reportados con anterioridad por Aquino-Bolaños *et al.* (2000), tales como el metabolismo fermentativo del tejido vegetal, el crecimiento de bacterias microaerófilas y los cambios bioquímicos (cambios en la actividad de PAL y PPO), físicos y fisiológicos.

3. JUSTIFICACIÓN.

Los hábitos de la alimentación humana han cambiado con el ritmo actual de vida; el escaso tiempo para preparar comidas equilibradas, ha provocado la demanda de productos vegetales frescos, saludables y listos para su consumo, como los mínimamente procesados. Debido a que la jícama se consume de manera popular en México como producto fresco cortado, su desarrollo como mínimamente procesado está en proceso de explotación. El procesamiento mínimo industrial de la jícama en la etapa final se limita a su empaçado en bolsas de polietileno y refrigeración para prolongar su vida útil. No obstante, la elección del empaque no se ha sujeto a estudios para determinar si este es el más adecuado para crear la atmosfera modificada que necesita el producto; de igual manera, no se ha establecido los cambios microbianos que ocurren en el producto empaçado con diferentes empaques ni cómo se pueden aliviar los síntomas al estrés de frío que el producto muestra al estar sujeto al ambiente refrigerado de conservación. Como producto fresco cortado sin conservadores, está sujeto a desórdenes físicos y fisiológicos y al deterioro microbiano que reduce significativamente su vida de anaquel. Todo esto indica que la jícama mínimamente procesada demanda mejoras tecnológicas que le permita conservar sus atributos de calidad e incrementar su vida de anaquel; el empaçado en atmósferas modificadas activas y la implementación de otras alternativas como tratamientos de inmersión en ácido salicílico aplicados a este producto proporcionarán a la industria una tecnología integral que les permita un mejor control de la vida de anaquel.

4.OBJETIVO GENERAL.

Mejorar el proceso de conservación de la jícama mínimamente procesada empleando la tecnología de empaçado en atmosferas modificadas (EAM) y tratamientos de inmersión en solución de ácido salicílico (AS).

5. OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- ✓ Evaluar el efecto combinado de la temperatura de almacenamiento y del empaçado en atmósferas modificadas activas utilizando empaques con diferente tasa de transmisión al oxígeno en la calidad y conservación de jícama mínimamente procesada.
- ✓ Seleccionar las mejores condiciones de empaque y atmósfera modificada para alargar la vida de anaquel de jícama mínimamente procesada.
- ✓ Evaluar el efecto combinado del tratamiento de inmersión en solución de ácido salicílico y el empaçado en atmósferas modificadas en la calidad y conservación de jícama mínimamente procesada.
- ✓ Hacer el estudio bioquímico comparativo de la jícama mínimamente procesada tratada con y sin ácido salicílico, empaçada en atmósferas modificadas pasivas y activas.

6. MATERIALES Y MÉTODOS.

6.1. Origen de la Raíz.

Para la realización de este estudio se utilizaron raíces de jícama (*P. erosus*) cultivadas en los estados de Morelos y Nayarit, México. Estas raíces fueron utilizadas dependiendo de su producción durante el año y del avance de las etapas experimentales consideradas en el proyecto. En el desarrollo de la primera etapa del proceso experimental descrita en la sección 6.3.1 se utilizaron raíces de Morelos mientras las raíces cultivadas en Nayarit fueron utilizadas durante la segunda etapa experimental descrita en las secciones 6.3.2 y 6.7.

6.2. Empacado de la jícama mínimamente procesada en atmósferas modificadas.

Las operaciones de preparación industrial de la jícama mínimamente procesada que fueron utilizadas en la primera etapa, consistieron de las siguientes operaciones:

Tratamiento de la raíz. El proceso de preparación de las raíces en la empresa procesadora fue el siguiente: Las muestras de la primera etapa fueron obtenidas dentro del mismo proceso industrial; donde el proceso de preparación de las raíces en la empresa procesadora fue el siguiente: Las raíces almacenadas a temperatura ambiente se sometieron a lavado manual por cepillado y después una desinfección en agua con cloro a 200 ppm; posteriormente las raíces fueron almacenadas a 5 °C por 24 h antes de ser sometidas al procesamiento mínimo.

Pelado manual de las raíces. El conjunto de raíces previamente lavadas y almacenadas a 5°C se llevaron a la sala de pelado a 8 °C donde fueron peladas usando peladores manuales de acero inoxidable. Las raíces peladas fueron

transferidas a otro operario para la separación, por corte con cuchillo, de los extremos de cada raíz (los cuales fueron desechados), la parte central de la raíz fue depositada en cajas de plástico las cuales fueron transferidas a la sala de corte y desinfección. El color de las cajas utilizadas en este proceso es diferente al color de las cajas utilizadas para la jícama lavada que entra a proceso. Estas cajas fueron colocadas sobre cajas vacías para evitar el contacto directo de las cajas con el piso de la planta.

Corte y desinfección de las raíces. Las cajas con las raíces peladas se transfirieron a la sala de corte y desinfección; éstas se vaciaron a una tina que contenía agua con cloro a 50 ppm desde donde fueron alimentadas manualmente a una máquina cortadora Urshell para obtener tiras de jícama. Las tiras fueron depositadas en una corriente de agua con agente desinfectante (FITOBAC: extracto estandarizado de *Allium sativum*: 0.66 mL, vehículo c.b.p.: 100 ml; ECOBAC DB® Fitobac) en dilución 1:500; este sistema consta de un semicilindro de acero inoxidable (de 3 m de largo y 30 cm de radio) donde circula el agua con el desinfectante y el producto rebanado; el agua es impulsada por una bomba centrífuga de acero inoxidable que recircula el agua al semicilindro. Un tamiz de acero inoxidable está colocado después de la salida del agua para filtrar el agua de salida y eliminar los pedazos de jícama pequeños.

Desinfección. Del tanque de desinfección, el producto fue transportado en banda transportadora continua donde se le asperjó una solución de TSUNAMI (ácido peroxiacético: 15.2%, peróxido de hidrógeno: 11.2%, ingredientes inertes: 73.6%; ECOLAB Tsunami®100) con una concentración de 30-50 ppm (aproximadamente un minuto de contacto con las boquillas de aspersion de la solución).

Secado o escurrido. El producto ya desinfectado fue colectado en diferentes canastillas de máquinas centrífugas para ser centrifugado durante 1-2

min a 60 rpm; después el producto se vació en cajas de plástico sin contacto con el suelo, (otro color de cajas previamente lavadas y sanitizadas).

Llenado, pesado y sellado. El producto centrifugado fue transferido a la sala de llenado y vaciado en una mesa de acero inoxidable desde donde fue empacado manualmente a las bolsas del producto final. En esta etapa, se proporcionaron los diferentes materiales de empaque para ser llenados de acuerdo al plan experimental de la primera etapa. Las bolsas con producto fueron pesadas y ajustadas al peso de acuerdo al producto; finalmente estas fueron cerradas manualmente con la máquina térmica selladora de bolsas.

Para los empaques a los que se les suministró atmósferas modificadas activas; se procedió de la siguiente forma: El producto ya colocado en las bolsas fue llevado a una selladora al vacío la cual extraía el aire de los empaques e inyectó una corriente de aire con 5 % de CO₂ y posteriormente se termino sellaban las bolsas.

Todas las bolsas con atmósfera pasiva (R) y con atmósfera modificada activa (M) fueron colocadas en cajas de plástico y se trasladaron a la sala de enfriado y empaque de producto.

Enfriado, empaque y paletizado. Las cajas con las bolsas de producto fueron trasladadas al área de empaque que se encuentra a 4 °C donde son enfriadas en un túnel de aire forzado hasta bajar su temperatura a 4 °C; después el producto fue colocado en cajas de cartón corrugado y trasladadas al Laboratorio en la Universidad Autónoma de Querétaro para realizar los análisis. El producto comercial es paletizado para posteriormente ser almacenado hasta el momento de su embarque al mercado.

Manejo en condiciones de laboratorio.

Simulando las condiciones del proceso industrial; las raíces fueron lavadas con agua potable con 200 ppm de cloro; se pelaron manualmente, se

eliminaron los extremos dejando una pieza ecuatorial de aproximadamente 5 cm de altura. Con un cuchillo afilado de acero inoxidable se cortaron piezas en forma de tiras, con dimensiones aproximadas de 4.5 cm de largo por 1.5 cm de ancho y alto, las piezas obtenidas se colocaron en charolas con hielo para mantener la temperatura baja (aproximadamente 4-7°C).

La siguiente etapa consistió en la inmersión del producto en una solución de ácido salicílico 3 mM (AS) por un periodo de 3 min posteriormente el agua fue drenada y la jícama fue centrifugada para remover el exceso de agua. La concentración se estableció de acuerdo a los resultados obtenidos en experimentos preliminares utilizando diferentes concentraciones de ácido salicílico (1.5, 3 y 4 mM). Se utilizó como grupo control el producto sin el tratamiento con AS.

Después se llevó a cabo un proceso de lavado y desinfección con una solución de SANIPER 20 (ácido peroxiacético: 15.2%, peróxido de hidrógeno: 11.2%, ingredientes inertes: 73.6%; BETA® SANIPER20) a 80 ppm, posteriormente las piezas de JMP fueron centrifugadas para remover el exceso de agua usando una centrifuga manual.

Todo el material utilizado en la preparación de las muestras se sanitizó en una solución de hipoclorito de sodio a 200 ppm.

Llenado pesado y sellado de los empaques. El producto fue empacado manualmente en las bolsas diseñadas para este experimento, el peso fue ajustado de acuerdo al contenido establecido en la estrategia experimental; los empaques fueron sellados manualmente usando una máquina térmica selladora de bolsas. Las atmósferas modificadas activas se realizaron por el método de vacío compensado para esto las bolsas selladas, ya con el producto, se les hizo un vacío con una bomba de vacío y posteriormente se inyectó la mezcla certificada de 5 % de CO₂ balance en aire contenida en un cilindro de la Cia Infra.

Todas las bolsas con atmósfera de aire y con atmósfera modificada se colocaron en cajas de cartón y fueron almacenadas en cámaras de refrigeración a 5 °C ubicadas en de la Universidad Autónoma de Querétaro hasta su posterior análisis.

El procedimiento que se llevó a cabo en común para las dos etapas del proceso experimental indicadas en las secciones 6.3.1 y 6.3.2. fue como se describe a continuación.

La JMP fue empacada en dos tipos de atmósferas modificadas (EAM): Atmósferas modificadas pasivas (R) en las cuales la atmósfera interna fue aire y atmósferas modificadas activas (M) en la cual se aplicó una mezcla de gases compuesta por 5% de CO₂ balance aire. La atmósfera M fue obtenida mediante la mezcla dióxido de carbono y aire (en balance a 100%) y fue distribuida por la empresa INFRA. La concentración de gases establecida para los experimentos con atmósfera M se designó según lo reportado por Aquino-Bolaños (2000).

6.3. Estrategia experimental.

El trabajo experimental de este estudio se llevó a cabo en dos etapas; en la primera etapa se evaluó el efecto de diferentes tipos de empaques y la aplicación de atmósferas modificadas activas en la calidad de la JMP durante su almacenamiento a 5 y 10 °C.

En la segunda etapa se evaluó el efecto de la aplicación de ácido salicílico (SA) y empacado en atmósfera modificada (EAM) activa en la calidad del producto. Los procedimientos experimentales en cada una de estas etapas se reseñan a continuación:

6.3.1. Primera etapa. Plan experimental para el estudio del efecto de diferentes tipos de películas plásticas con diferente tasa de transmisión de oxígeno y el EAM en la calidad de la jícama mínimamente procesada.

El procesamiento mínimo de la jícama se realizó en una planta procesadora de vegetales frescos bajo las condiciones de operación y sanidad ya establecidas por la empresa y descritas anteriormente.

Se empaclaron 600 g de JMP en 4 tipos de empaques poliméricos (24.5 cm de largo X 20 cm de ancho) con diferente tasa de transmisión al oxígeno (TTO) (Tabla 2). Las jícamas EAM pasiva (R) y activa (M) fueron almacenadas a 5 y 10 °C para posteriormente ser evaluadas periódicamente durante su almacenamiento.

Tabla 2. Tasa de transmisión al oxígeno de los diferentes empaques utilizados.

Empaque	Tasa de transmisión al oxígeno (cm³/m²-día)
E1: empaque actual	381
E2: CRL250 Produce Film, Sealed Air, CRYOVAC®	3875
E3: ABA 15 BHT-4, Krystafilms de México S.A. de C.V	> 5000
E4: PD961, CRYOVAC®	5100

En la Figura 8 se presenta de manera esquemática los procedimientos realizados durante la etapa.

En esta etapa se realizaron las siguientes evaluaciones

- ✓ Sensoriales. Se utilizaron escalas subjetivas para evaluar la calidad.
- ✓ Análisis microbiológicos. Contenido de bacterias ácido lácticas (BAL) y bacterias mesófilas aerobias (BMA).
- ✓ Fisicoquímicas. Cuantificación de CO₂ y O₂ en el espacio de cabeza, determinación de textura y color, sólidos solubles totales (SST), contenido de materia seca (MS) y porcentaje de liberación de electrolitos (LE).

6.3.1.1. Diseño estadístico.

Se utilizó un diseño experimental 2 x 2 x 4 que incluía 3 factores (temperatura de almacenamiento, tipo de atmósfera y tipo de empaque). Los niveles estudiados para cada uno de estos factores se describen en la Tabla 3. El análisis estadístico de los datos se realizó a través de un análisis de varianza general y una comparación de medias utilizando la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

Tabla 3. Diseño con tres factores.

Factores	Niveles			
T de alm.	5 y 10 °C			
Atmósfera	Aire y 5% CO ₂ en Aire			
Empaque	Empaque 1 (300 cm ³ /m ² -día)	Empaque 2 (3875 cm ³ /m ² -día)	Empaque 3 (>5000 cm ³ /m ² -día)	Empaque 4 (5100 cm ³ /m ² -día)

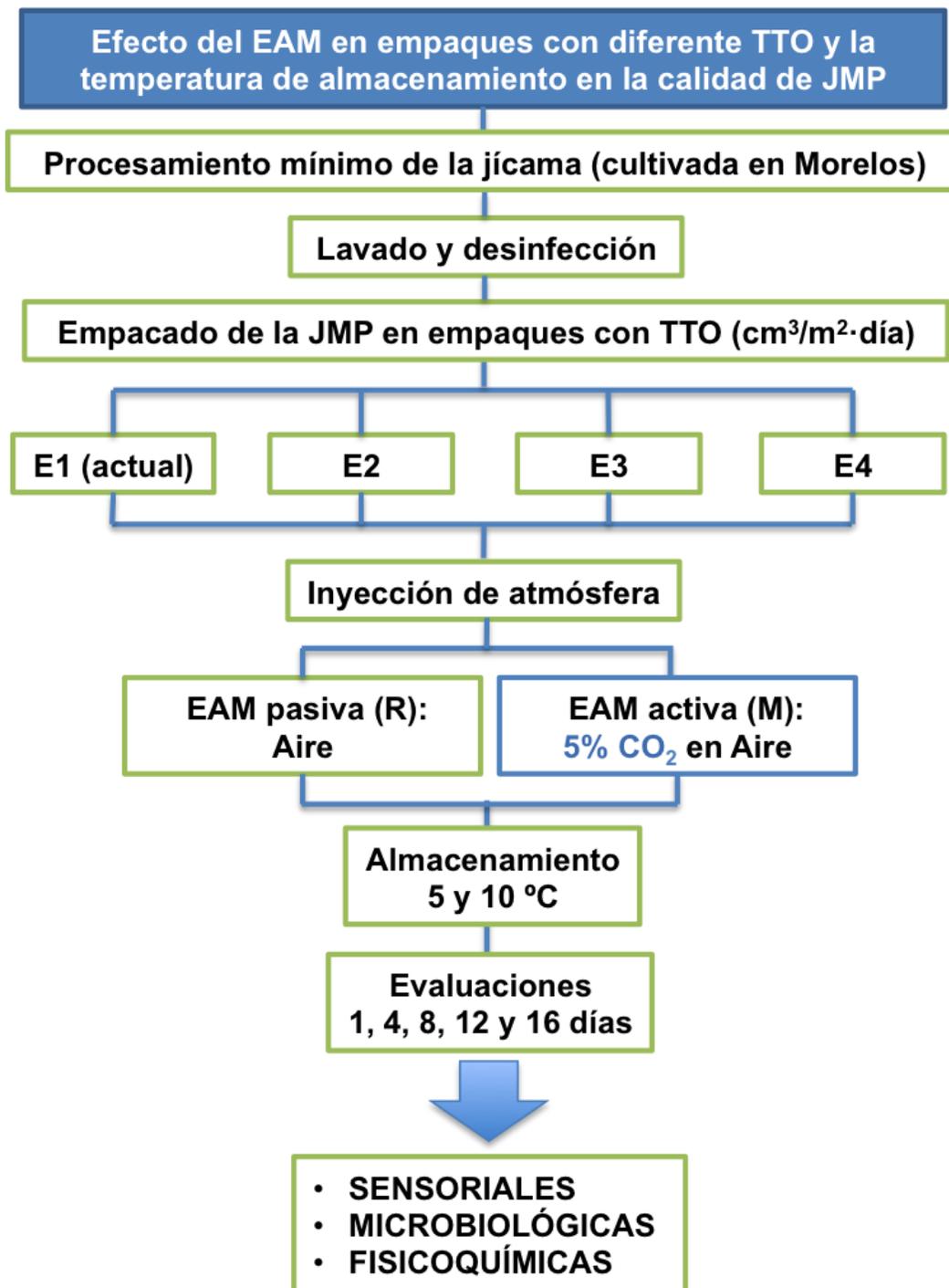


Figura 8. Estrategia experimental de la primera etapa para el estudio del efecto del EAM pasivas (R: aire) y activas (M: 5% CO₂ en aire) utilizando empaques con diferente tasa de transmisión al oxígeno (TTO). E1= 381, E2= 3875, E3= 5100 y E4= >5000 cm³/m²·día.

6.3.2. segunda etapa. Efecto del pre tratamiento con ácido salicílico y empacado en atmósferas modificadas en la calidad de jícama mínimamente procesada.

El procesamiento mínimo de la jícama se realizó bajo las condiciones de laboratorio descritas anteriormente.

Se empacaron 125 g de JMP en paquetes de 10.5 cm de largo x 20 cm de ancho. Se utilizó como material de empaque E1 (empaque que actualmente usa la empresa) con una TTO de $381 \text{ cm}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$. Las jícamas EAM pasiva (R) y activa (M) fueron almacenadas a $5 \text{ }^\circ\text{C}$ para posteriormente ser evaluadas periódicamente durante su almacenamiento.

En la Figura 9 se presenta de manera esquemática los procedimientos realizados durante esta etapa..

En esta etapa se realizaron las siguientes evaluaciones:

- ✓ Sensoriales. Se utilizaron escalas subjetivas para evaluar la calidad (Anexo C).
- ✓ Evaluaciones microbiológicas. Contenido de BAL.
- ✓ Fisicoquímicas. Cuantificación de CO_2 y O_2 en el espacio de cabeza, determinación de la textura y color, sólidos solubles totales (SST) y porcentaje de liberación de electrolitos (LE).
- ✓ Bioquímicas. Actividad de las enzimas polifenol oxidasa (PPO), peroxidasa (POD), fenilalanina amonio liasa (PAL) y contenido de fenoles totales.

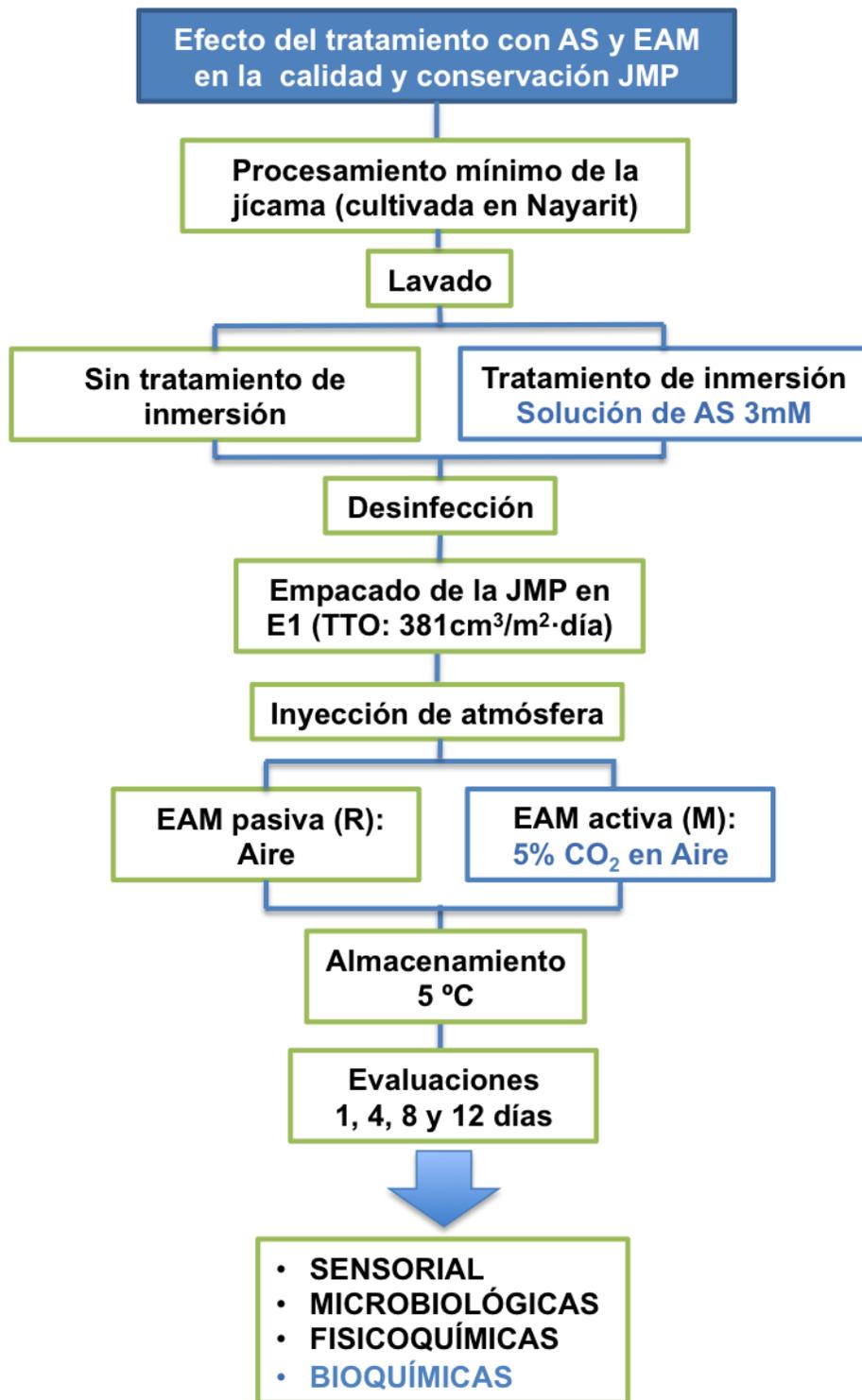


Figura 9. Estrategia experimental para evaluar el efecto del tratamiento con ácido salicílico (AS) y el empacado en atmósferas modificadas (EAM) pasivas (R: aire) y activas (M: 5% CO₂ en aire) en la calidad de jícama mínimamente procesada.

6.3.2.1. Diseño estadístico.

Para esta etapa se utilizó un diseño experimental 2 x 2 que incluía 2 factores (tratamiento con ácido salicílico y tipo de atmósfera). Los niveles estudiados para cada uno de estos factores se describen en la Tabla 3. El análisis estadístico de los datos se realizó con un análisis de varianza general y una comparación de medias utilizando la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

Tabla 4. Diseño con dos factores.

Factores	Niveles
Tratamiento con ácido salicílico (AS)	Con AS y sin AS
Atmósfera	Aire y 5% CO ₂ en Aire

6.4. Evolución del contenido de CO₂ y O₂ en el espacio de cabeza durante el almacenamiento de jícama mínimamente procesada.

Se tomaron muestras del gas del espacio de cabeza de los empaques con los tratamientos de atmósfera M y R, cada uno por duplicado para realizar la medición de la concentración de CO₂ y O₂; durante la primera etapa experimental a los días 1, 4, 8 y 12 y 0, 4, 8, 12 y 16 para el grupo de empaques almacenados a 10 y 5 °C respectivamente; en la segunda etapa experimental a los días 1, 4, 8 y 12 durante su almacenamiento a 5°C.

El contenido de CO₂ y O₂ en las atmósferas de cada empaque se determinaron extrayendo del espacio de cabeza una muestra de 2 mL del gas a través de una jeringa de compuerta (precisión sampling syringe series A-2, VALCO®).

Se utilizó un cromatógrafo de gases (GOW-MAC Series 580, E.U.A.) equipado con detector de conductividad térmica (TCD-GC) y una columna empacada CTR 1 (concéntrica de 6' X 1/4 exterior y 6 X 118 interior, Alltech Inc.,

Kentucky, E.U.A.). Como gas acarreador se utilizó He de calidad cromatográfica. La señales de salida fueron procesadas por un sistema de computo (Clarity lite p/n C40 Chromatography software). El tiempo total de análisis de la muestra fue de 6 minutos

El análisis se realizó según el método reportado por Arenas-Isaac (2012) para la detección de CO₂, O₂ y N₂. Las condiciones de operación del equipo se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Condiciones de operación del cromatógrafo de gases.

	Condición
Temperatura de inyección	40 °C
Temperatura del horno	25 °C
Temperatura del detector	100 °C
Gas acarreador (He)	Flujo 30 ml/min
Corriente	125 mA

La identificación de los diferentes gases fue a través de la comparación de los tiempos de retención de los picos de CO₂, O₂ y N₂ del cromatograma obtenido de un material de referencia de concentración conocida, proporcionado y certificado por la empresa INFRA, el cual fue inyectado al cromatógrafo de gases operado a las mismas condiciones que las muestras. El criterio de identificación fue el tiempo de retención de 2.03 min para CO₂, de 2.68 min para O₂ y de 4.38 min para N₂ (Anexo A).

De acuerdo al cromatograma obtenido del material de referencia se identificó la señal de cada componente en las muestras. El porcentaje del área bajo la curva encontrado para cada analito era equivalente al porcentaje de gas presente en la mezcla en base a un 100 % de muestra compuesta por CO₂, O₂ y N₂.

La cuantificación de los gases del espacio de cabeza de las muestras se realizó mediante la comparación del porcentaje de área bajo la curva de los picos de la muestra de referencia y de los obtenidos en cada una de las muestras.

6.5. Cuantificación de bacterias mesófilas aerobias y bacterias ácido lácticas.

Se tomaron muestras por triplicado de JMP empacada tanto en atmósferas modificadas activas (M) y como en atmósferas modificadas pasivas (R) los muestreos se realizaron los días 1, 4, 8 y 12, y 1, 4, 8, 12 y 16 de almacenamiento a 10 y 5 °C respectivamente. Este mismo procedimiento se siguió para las muestras de producto tratado con soluciones de ácido salicílico. Los procedimientos de preparación de las muestras, siembra, incubación y cuantificación se indican en los siguientes apartados.

El recuento microbiano se llevó a cabo según lo reportado por Cepeda-Márquez (2009). Se tomaron porciones de 10 g de muestra y se homogenizaron con 90 ml de diluyente de peptona (DP) empleando un stomacher a una velocidad media durante 1 min. A partir de esta suspensión se prepararon diluciones decimales. Alícuotas de diluciones seleccionadas se inocularon en los diferentes medios de cultivo recomendados para cada grupo microbiano de interés en el análisis:

Cuantificación de bacterias mesófilas aerobias (BMA)

Este grupo de microorganismos se cuantificó mediante la técnica de vaciado en placa utilizando agar cuenta estándar (ACE). En condiciones estériles, se tomaron 1 mL de cada una de las diluciones y se colocaron en cajas de Petri a la cual se le añadió 15 mL de medio de cultivo, la caja se tapó y se mezcló para después ser incubadas a 22 °C durante 48 h para el recuento.

Cuantificación de bacterias ácido lácticas (BAL)

Este grupo de bacterias se cuantificó mediante la técnica de extensión en superficie utilizando agar MRS (Man Rogosa y Sharp) específico para este tipo de microorganismos. Se tomaron 10 µL de cada dilución seleccionada y se extendieron en la superficie del medio de cultivo utilizando una varilla de vidrio. Las cajas se taparon y se incubaron a 30 °C durante 48 horas.

Los recuentos se realizaron cumplido el tiempo de incubación para cada grupo de microorganismos utilizando un contador de colonias.

Las unidades formadoras de colonias (UFC) por gramo de tejido fresco se cuantificaron mediante la siguiente expresión y los resultados se reportaron como log UFC/g.

$$\frac{UFC}{g} = \frac{A1 \cdot Fd \cdot Vt}{Vi \cdot Va}$$

Dónde:

A1 = número de colonias contadas en la placa.

Fd = factor de dilución decimal, ej.: D1= 1, D2= 10, D3= 100, etc.

Vi = volumen del inóculo, 1 ml y 0.1 ml para BMA y BAL respectivamente.

Vt = volumen total (100 ml) → masa de alimento (10g) más el volumen del diluyente (90 ml).

Va = masa del alimento.

6.6. Análisis fisicoquímicos.

Se tomaron muestras aleatorias por triplicado de jícama empacada en atmósfera M y R; a los días 1, 4, 8 y 12 y 1, 4, 8, 12 y 16 para los empaques almacenados 10 y 5 °C respectivamente; y a los días 1, 4, 8 y 12 para aquellos empaques de JMP con y sin tratamientos de inmersión en AS y almacenados a 5°C.

6.6.1. Evaluaciones subjetiva de la calidad.

Las escalas subjetivas son adecuadas para evaluar la severidad de varios defectos, dicha escala indica la severidad de un defecto dado desde el punto de vista de la aceptabilidad del consumidor. La evaluación se planteó tomando como base las propuestas de Kader et al. (1973) descritas a continuación.

- ✓ Calidad Visual (general): se calificó del 1 al 9 mediante la siguiente escala: 9 - excelente, libre de defectos, 7 – buena, defectos menores, no objetables, 5 – regular, defectos objetables de leves a moderados, 3-pobre, defectos excesivos, 1 - extremadamente pobre, rechazable.
- ✓ Oscurecimiento: se evaluó mediante la siguiente escala: 1 – ninguna, apariencia de corte fresco, 3 – ligero, 5 – moderado, 7 – severo, 9 – extremo, muy oscuro.
- ✓ Pérdida de crujencia: se calificó en una escala del 1 al 9: 1 – ninguna, 3 – ligera, no objetable, 5 – moderado, comienza a ser objetable, 7 – severo, definitivamente objetable, 9 – extremo, rechazable.
- ✓ Otros defectos, presencia de material viscoso en la superficie (viscosidad): se evaluó con la escala siguiente: 1 – ninguna, 3 – ligera, 5 – moderado, comienza a ser objetable, 7 – severa, definitivamente objetable, 9 – extremo, rechazable.

- ✓ Desarrollo de olores extraños: 1 – ninguno, 3 – ligero, 5 – moderado, comienza a ser objetable, 7 – severo, definitivamente objetable, 9 – extremo, rechazable.

6.6.2. Evaluación de los cambios de la textura.

Los cambios de textura de la muestra se midieron siguiendo el método descrito por Mercado-Silva y Cantwell (1998). La fuerza máxima de ruptura y la distancia al punto de ruptura (deformación) se determinó en tres porciones de dos muestras seleccionadas al azar de cada empaque, utilizando un analizador de textura TA-HD equipado con una sonda cilíndrica de 3 mm que descendió a una velocidad de 1 mm/s y alcanzando una profundidad de 6 mm. Los resultados de fuerza de ruptura en N y deformación en el punto inicial de fractura de la muestra, fueron utilizados para calcular el trabajo y este fue reportado en Joules, unidad definida como la cantidad de trabajo realizado por una fuerza constante de un newton para desplazar una masa un milímetro de longitud en la misma dirección de la fuerza.

6.6.3. Determinación del color.

El color se determinó usando un espectrofotómetro Minolta CR-200/30, utilizando como referencias el iluminante A y observador a 10°. El equipo fue previamente calibrado utilizando una superficie blanca de referencia ($x = 82.03$; $y = 100$ y $z = 72.98$). Una vez calibrado, se midieron las muestras y se registraron los valores de L^* , a^* y b^* con los cuales se calculó el valor del ángulo de matiz ($\text{Hue} = \tan^{-1} (b^*/a^*)$).

El espacio de color $L^*a^*b^*$ (CIELAB), es un espacio con tres dimensiones, donde L^* indica la luminosidad o que tan blanco o luminoso es el color y varía desde cero hasta valores mayores de 100; a^* y b^* son las coordenadas del color (Figura 10 a). El valor a^* señala los colores rojos (valores positivos) y verdes (colores negativos) y el valor b^* indica los colores amarillos (positivos) y azules

(negativos). El centro es acromático; si los valores de a^* y b^* incrementan y el punto se mueve lejos del centro, la saturación del color incrementa (Konica Minolta Sensing, 2007).

El espacio de color L^*C^*h usa el mismo diagrama del espacio de color $L^*a^*b^*$, pero usa coordenadas cilíndricas (Figura 10b). L^* indica la luminosidad, C^* es croma y h es el ángulo de hue. El valor de $C^* = ((a^*)^2 + (b^*)^2)^{1/2}$ es 0 al centro e incrementa de acuerdo a la distancia desde el centro. El ángulo h ($h^0 = \tan^{-1}(b^*/a^*)$) se define como el inicio del eje $+a^*$ y se expresa en grados, $0^\circ = +a^*$ (rojo), $90^\circ = +b^*$ (amarillo), $180^\circ = -a^*$ (verde) y $270^\circ = -b^*$ (azul) (Konica Minolta Sensing, 2007).

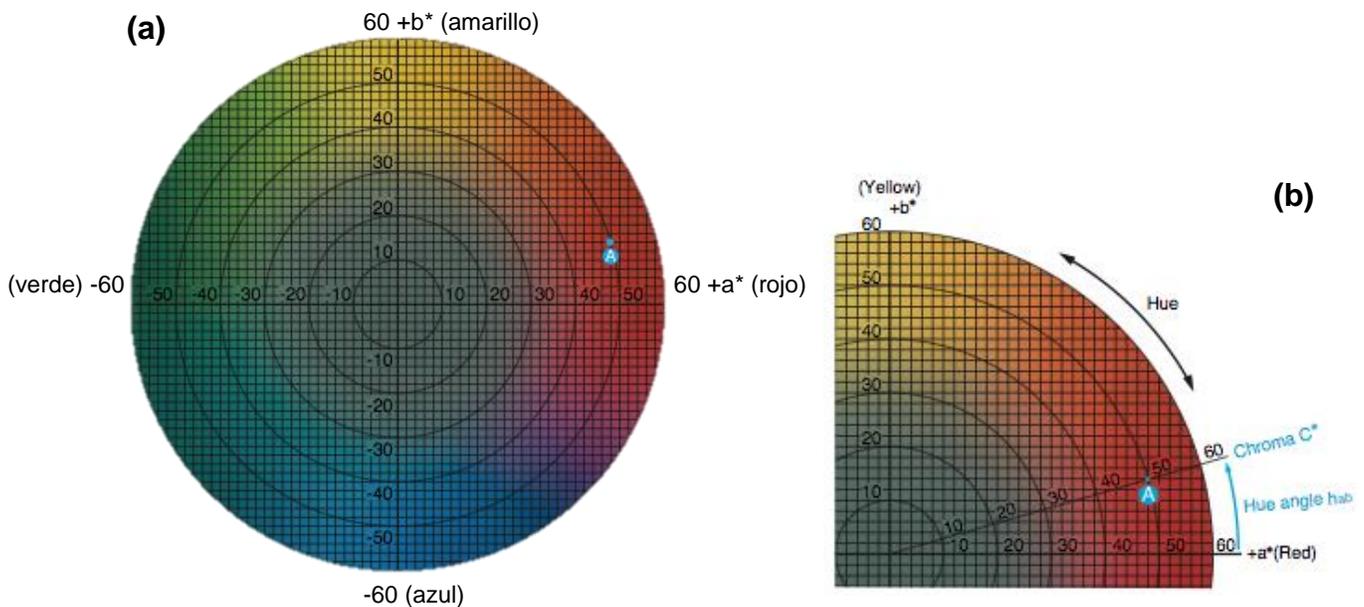


Figura 10. Diagrama de cromaticidad del espacio de color $L^*a^*b^*$ (a), (b) ubicación de los valores de cromaticidad C^* y el ángulo de matiz (Hue).

6.6.4. Determinación de sólidos solubles totales.

La concentración de sólidos solubles totales (SST) se determinó en el jugo extraído de una porción de la muestra como se indica en el método 932.12 de la AOAC (2002), utilizando un refractómetro modelo HI 96801 a 20 °C, el cual mide el índice de refracción de la luz provocada por los sólidos solubles presentes en el jugo (azúcares libres, ácidos orgánicos entre otros). El índice de refracción del agua pura es de 13330 y corresponde a 0% de sólidos solubles. Dado que en los productos hortícolas el mayor contenido son azúcares se puede expresar el contenido de SST como % de °Brix; asumiendo que 1°Bx es equivalente a 1% de sacarosa en solución acuosa.

6.6.5. Determinación de materia seca.

Se pesó 5 ± 0.05 g de jícama por triplicado en contenedores con peso constante, las muestras se colocaron en una estufa de laboratorio calibrada a 60 °C durante 24 h. Se registró el peso de la masa inicial y la final para con ello determinar el % de materia seca. (22.013, AOAC, 1995).

6.6.6. Liberación de electrolitos.

La estimación del daño a las membranas del tejido de la jícama se evaluó a través de un método indirecto, el cual se basa en medir la conductividad eléctrica de los iones liberados a través de la membrana en el agua que rodea a una muestra de tejido a evaluar y esta se compara con la conductividad eléctrica del agua que rodea a una muestra del problema que ha sido congelada a -20 °C durante 24 h y posteriormente descongelada a temperatura ambiente. En esta muestra la compartimentalización celular se habrá roto y por tanto todos los iones salen y se disuelven en el agua que rodea al tejido y por tanto se obtendrá un valor de conductividad máxima que se compara con la conductividad de las muestras en evaluación.

Cubos de las muestras de jícama de 1 cm por lado, se colocaron en tubos Falcon de 50 mL con 15 mL de agua destilada, estos se dejaron reposar por 15 minutos con agitación suave, después se midió la conductividad eléctrica de la solución mediante un electrodo de conductividad utilizando un medidor de conductividad (HORIBA D-24).

La liberación de electrolitos (LE) se reportó como el porcentaje de conductividad respecto de la conductividad total, utilizando la siguiente fórmula:

$$\% LE: \frac{C_m}{C_t} \times 100$$

Dónde

C_m = es la conductividad eléctrica de la solución con la muestra evaluada.

C_t = es la conductividad total de la solución con la muestra previamente congelada.

% LE = es el porcentaje de liberación de electrolitos.

6.7. Cuantificación de la actividad enzimática

Para la cuantificación de las actividades enzimáticas se tomaron aleatoriamente y por triplicado muestras de JMP tratadas con y sin AS, y empacadas en atmósferas pasivas (R) y activas (M), durante los días 1, 4, 8 y 12 de almacenamiento a 5°C.

Los métodos para la cuantificación de las actividades enzimáticas se describen a continuación

6.7.1 Actividad enzimática de fenil alanina amonio liasa (PAL).

Se utilizó el método descrito por Ke y Saltveit (1989), el cual se basa en cuantificar por un método espectrofotométrico la actividad de la enzima, donde el incremento en la absorbancia de 0.01 unidades es equivalente al incremento de 1 μmol de ácido trans-cinámico, utilizando como sustrato fenilalanina. La formación de este compuesto se representa en la siguiente reacción:

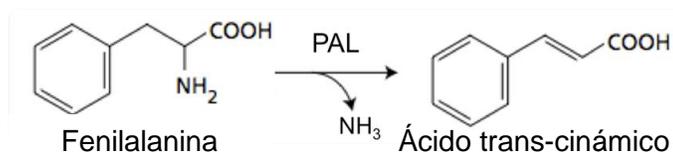


Figura 11. Reacción de conversión de la fenilalanina a ácido trans cinámico.

El método incluyó los siguientes pasos:

Obtención del extracto enzimático.

Se pesaron 0.4 g de Polivinilpirrolidona (PVP), se adicionó 16 mL de buffer de borato 50 mM (pH 8.5), 14 μL de 2-mercaptoetanol y 4 g de tejido fresco finamente picado. La mezcla se homogeneizó durante 15 segundos en un homogeneizador Ultra-Turrax T25 a 8000 rpm; el homogeneizado se filtró a través de manta de cielo para ser centrifugada a 12 000 rpm a 4 $^{\circ}\text{C}$ durante 20 minutos. El sobrenadante se consideró como el extracto crudo de la enzima.

Ensayo de la actividad enzimática

Se incubaron 2700 μL de cada extracto enzimático a 40 $^{\circ}\text{C}$ en un baño con agua durante 5 minutos, se inició la reacción adicionando 300 μL de sustrato de fenilalanina 100 mM y se midió la absorbancia a 290 nm al tiempo cero y después de una hora de incubación se midió la absorbancia final. La longitud de onda elegida es la máxima absorción del ácido cinámico formado.

La actividad de PAL se expresó como la cantidad de PAL que produjo 1 μmol de ácido trans-cinámico en 1 hora utilizando una curva de calibración para determinar los moles de ácido trans-cinámico producidos.

La absorbancia debido al ácido trans-cinámico formado en una hora se calculó mediante la diferencia entre la absorbancia obtenida al cabo de 1h y la absorbancia al tiempo cero. Los resultados se reportaron como μmol de ácido trans cinámico $\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ de tejido fresco.

6.7.2 Actividad enzimática de la polifenoloxidas (PPO).

Se tomó como referencia el método descrito por Montgomery y Sgarbieri (1975), el cual se basa en la determinación espectrofotométrica del color que se genera a partir de la acción del extracto enzimático sobre el catecol, como se representa en la siguiente reacción:

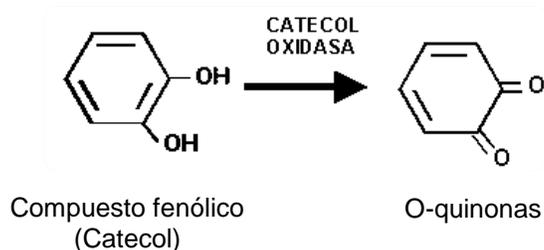


Figura 12. Reacción de oxidación catalizada por la PPO sobre el catecol para dar o-quinonas (Hernández-Valdez, 2009).

Obtención del extracto enzimático.

Cinco gramos de tejido fresco se pusieron en un tubo Falcon, se les añadió 20 mL de buffer de fosfato 50 mM a pH 7.0 y 0.6 g de Polivinilpolipirrolidona (PVPP) insoluble (SIGMA-ALDRICH). El conjunto se

homogeneizó durante 15 segundos en un homogeneizador Ultra-Turrax T25 a 8000 rpm. El homogeneizado se filtró a través de manta de cielo, la solución obtenida se centrifugó a 10 000 rpm a 4 °C durante 15 minutos, el sobrenadante claro se consideró el extracto crudo de la enzima.

Ensayo de la actividad enzimática

El ensayo de la actividad enzimática se realizó con 2.85 mL de buffer de fosfatos 0.2 M (pH 7.0) y 50 µL de catecol (60 mM) como sustrato y se inició la reacción agregando 100 µL de extracto enzimático, la mezcla de reacción se mantuvo a 25 °C. Se leyó el cambio de absorbancia durante 3 minutos, a una longitud de onda de 420 nm, en un espectrofotómetro Perkin Elmer (Lamda 40). La actividad se reportó en unidades de actividad (UA), siendo una unidad de actividad de PPO, el cambio de una unidad de absorbancia por minuto. La actividad específica de esta enzima se calculó determinando el contenido de proteína en la muestra original por el método de Bradford (modificado por Kruger, 2002).

6.7.3 Actividad enzimática de la peroxidasa (POD).

El ensayo de la actividad se midió tomando como referencia del método descrito por Childs y Bardsley (1975). De igual forma la actividad fue determinada espectrofotométricamente por el incremento en la absorbancia generado por la reacción de oxidación del extracto enzimático sobre un cromógeno que actúa como donador de electrones y peróxido de hidrógeno como molécula aceptora de electrones, tal como se indica en la Figura 13.

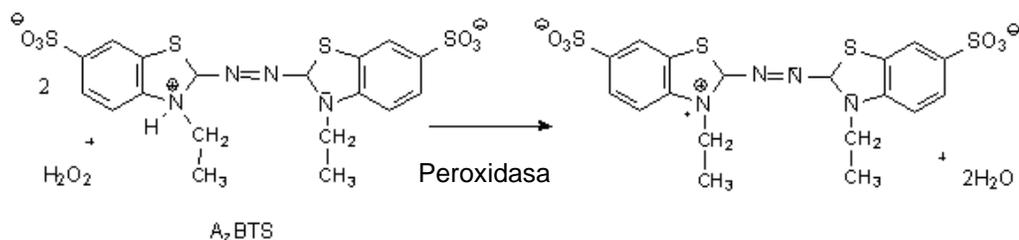


Figura 13. Reacción de oxidación del ABTS (cromógeno) catalizada por la enzima POD utilizando H₂O₂ como molécula aceptora de electrones (Childs y Bardsley,1975).

Obtención del extracto enzimático.

A 5 g de tejido fresco colocados en tubos Flacon se añadieron 20 mL de buffer de fosfato 50 mM a pH 7.0 y 0.6 g de Polivinilpolipirrolidona (PVPP) insoluble estos fueron homogeneizados durante 15 segundos en un homogeneizador Ultra-Turrax T25 a 8000 rpm. El homogeneizado se filtró a través de 4 capas de manta de cielo, posteriormente el filtrado se centrifugó a 10 000 rpm a 4 °C durante 15 minutos, el sobrenadante claro se consideró el extracto crudo de la enzima

Ensayo de la actividad enzimática

El ensayo de la actividad enzimática se realizó con 1.34 mL de buffer de fosfatos 0.1 M (pH 6.0), 30 µL de ABTS 50mM (2,2'-azino-bis-(ácido 3-etil-benzotiazolina-6-sulfónico)) y 50 µL del extracto crudo de la enzima; se inició la reacción agregando 80 µL de peróxido de hidrógeno (0.92mM). La mezcla se mantuvo a 25 °C. Se leyó el cambio de absorbancia durante 3 minutos, a una longitud de onda de 420 nm, en un espectrofotómetro Perkin Elmer (Lamda 40). La actividad se reportó en unidades de actividad (UA), siendo una unidad de actividad de POD, el cambio de una unidad de absorbancia por minuto. La actividad específica de esta enzima se calculó determinando el contenido de proteína en la muestra original por el método de Bradford (modificado por Kruger, 2002).

6.8. Cuantificación de proteína.

La concentración de proteína se cuantificó utilizando el ensayo de Bradford tomando como referencia el método propuesto por Kruger (2002) con modificaciones.

Microensayo para la cuantificación de proteína.

El microensayo se realizó con 100 μ L del extracto crudo de la enzima a los cuales se le adicionó 200 μ L del Reactivo de Bradford y el conjunto se mezcló suavemente. Transcurridos 15 min, se midió la absorbancia de la muestra en microplaca en un lector de ELISA a una longitud de onda de 595 nm.

La cuantificación de proteína se realizó utilizando una curva de calibración elaborada con un estándar de proteína de suero albumina bovina (BSA). Los resultados obtenidos se calcularon en μ g de proteína por gramo de tejido fresco. La actividad específica de la enzima se reportó como unidades de actividad de la enzima por mg de proteína.

6.9. Cuantificación de fenoles totales.

Para la cuantificación de fenoles totales se siguió el método descrito por Fossen *et al.* (1996) con modificaciones, como se describe a continuación.

Extracción de fenoles de la muestra

Se pesaron 5 g de jícama finamente cortada y se adicionaron 15 ml de metanol al 95%, la mezcla se homogeneizó con Ultra-Turrax T25 durante 1 min, el homogeneizado se filtró con manta de cielo y se centrifugó el sobrenadante por 15 min a 10,000 rpm a una temperatura de 4 °C. El sobrenadante obtenido se diluyó en metanol al 95 % en una relación 1:10, la solución restante fue utilizado para la determinación de fenoles.

Cuantificación

Se tomaron 30 μL de muestra blanco y se adicionaron 150 μl del reactivo Folin Ciocalteu 1 N (1:10). Se dejó reposar la muestra durante 5 min después de agitación. Transcurrido el tiempo se añadieron 120 μl de Na_2CO_3 (7.5 %). Se dejó la muestra en reposo durante 1h, posteriormente se midió la absorbancia en microplaca en un lector de ELISA a 760 nm. Se utilizó una curva de calibración de ácido gálico para cuantificar la concentración de fenoles totales, los datos fueron reportados en mg de ácido gálico por gramo de muestra fresca.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

7.1. Primera Etapa. Efecto de las atmósferas modificadas pasivas o activas, el tipo de empaque y la temperatura de almacenamiento en la composición de la atmósfera interna y el desarrollo microbiano de jícama mínimamente procesada.

7.1.1 Cambios en la composición de CO₂ y O₂ en los empaques.

Con el conjunto de datos de composición interna de los gases en cada una de las muestras empacadas con atmósferas pasivas o activas, en los cuatro tipos de empaques, almacenados a diferentes temperaturas y diferentes tiempos de almacenamiento se realizó un análisis de varianza general para determinar la significancia de cada uno de los factores estudiados y de sus interacciones. En la Tabla 6 se muestran los valores de probabilidad obtenidos para cada uno de los factores principales estudiados, y sus interacciones para cada una de las temperaturas estudiadas. De manera general, se observó un efecto altamente significativo ($P < 0.05$) del factor tipo de empaque y tiempo de almacenamiento en ambas temperaturas; mientras que el factor atmósfera solo tuvo significancia en el contenido de CO₂ a 10 °C pero a 5 °C no, y sus interacciones con el tipo de empaque y el tiempo de almacenamiento no fueron estadísticamente significativos. De forma general no se observaron diferencias por efecto del tipo de atmósfera modificada aplicada en los diferentes tipos de empaques analizados.

El contenido de CO₂ incrementó de manera significativa ($P < 0.05$) durante el almacenamiento en todos los tipos de empaques utilizados y temperaturas de almacenamiento, mientras que el contenido de O₂, disminuyó en el mismo periodo de almacenamiento (Figura 14). Para ambas temperaturas, la acumulación de CO₂ en los diferentes tipos de empaque y tipos de atmósferas aplicadas no mostraron diferencias entre si durante los primeros 8 días de almacenamiento, para todos los

Tabla 6. Valores de probabilidad y significancia estadística del contenido de CO₂ y O₂ en el espacio de cabeza de diferentes empaques con jícama mínimamente procesada.

Fuente de variación	Prob > F			
	5 °C		10 °C	
	CO ₂	O ₂	CO ₂	O ₂
Atmósfera	0.2911	0.4471	0.0281*	0.1103
Empaque	<0.0001*	<0.0001*	<0.0001*	0.0125*
Atmósfera*Empaque	0.7628	0.3267	0.3985	0.1738
Tiempo de almacenamiento	<0.0001*	<0.0001*	<0.0001*	<0.0001*
Atmósfera*Tiempo de almacenamiento	0.0645	0.2703	0.6631	0.4682
Empaque*Tiempo de almacenamiento	0.0158*	<0.0001*	<0.0001*	0.0043*
Atmósfera*Empaque*Tiempo de almacenamiento	0.1115	0.12556	0.8365	0.2865

tratamientos a 5 °C fue menor a 10 % durante los primeros 8 días; no obstante, a los 12 días de almacenamiento a 5 °C las muestras empacadas en el empaque con mayor tasa de transmisión de oxígeno (E4) mostró el menor incremento en la acumulación de CO₂ respecto de los demás tipos de empaque, que permitió señalar que solamente E4 podría tener un efecto controlador del contenido de CO₂ dentro del empaque pero esto no se reflejó en un menor consumo de O₂ (Figura 14). Estos resultados coinciden con lo reportado por Kim *et al.* (2005), quienes observaron una lenta acumulación de CO₂ en empaques con alta permeabilidad al oxígeno como lo observado en este tipo de empaque.

Respecto del efecto de la temperatura, se esperaba que a mayor temperatura hubiera una mayor acumulación de CO₂ y mayor consumo de O₂ y que este efecto podría ser modulado por la permeabilidad al oxígeno de cada uno de los empaques.

El consumo de oxígeno, se vio ligeramente retrasado en la condición de 5 °C pero sin observarse diferencias claras después de 8 días de almacenamiento. A 10 °C el consumo de O₂ fue más rápido y alcanzó niveles bajos desde los 4 días de almacenamiento.

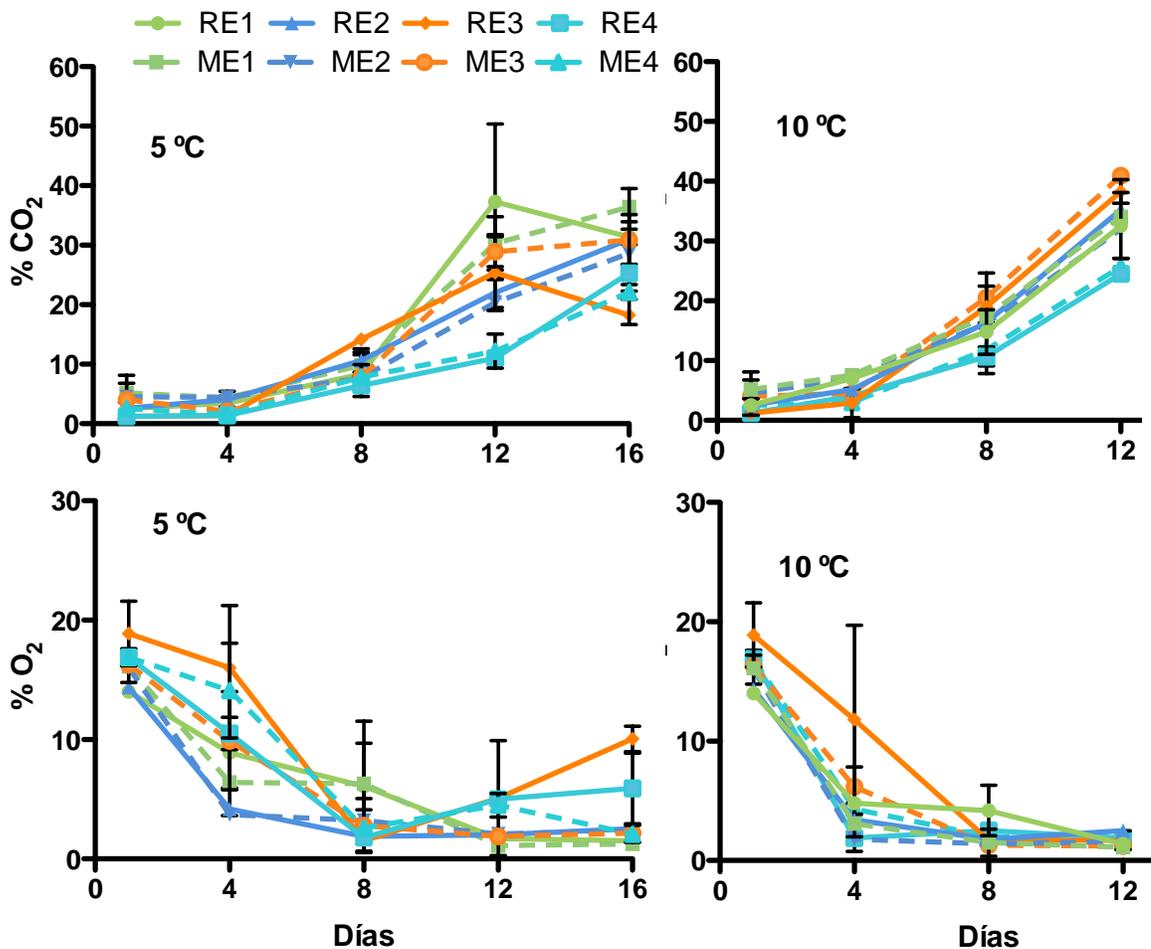


Figura 14. Cambios en los contenidos de CO₂ y O₂ en el espacio de cabeza de muestras de jícama empacada en bolsas de plástico con diferente tasa de trasmisión al oxígeno almacenados a 5 y 10 °C. E1= 381, E2= 3875, E3= 5100 y E4= >5000 cm³/m²·día. Atmósfera modificada pasiva (R: aire) y activa (M: 5% CO₂ en aire).

La elección de la atmósfera modificada activa aplicada a los diferentes tipos de empaques se estableció de acuerdo a lo reportado por Aquino Bolaños *et al.* (2000) quienes recomendaron el uso de atmosferas activas de aire enriquecidas con 5 - 10 % de CO₂ y el almacenamiento del producto a 5°C. Por tanto era de esperarse que aquellos empaques a los cuales se les aplicara esta atmósfera así como proporcionar mayor tasa de permeabilidad al oxígeno podría tener efectos importantes en la calidad de este producto. Los perfiles de

acumulación de CO₂ y consumo de oxígeno observados no permitieron establecer con claridad qué tipo de empaque podría ser utilizado.

Esos mismos investigadores reportaron una mayor tasa de respiración en JMP almacenada a 10 °C mientras que a 0 °C y a 5 °C tuvieron menores tasas de respiración lo cual indicaría un aumento en la vida de anaquel de los productos. De manera general este estudio confirmó esos resultados; los productos almacenados a 5 °C se mantuvieron por mayor tiempo respecto de los productos almacenados a 10 °C señalando la importancia de almacenar este producto a 5 °C y evitar los incrementos de temperatura durante el manejo del producto (Cantwell, 1998).

Se han observado beneficios del uso de empackado en atmósferas modificadas activas en la tasa de respiración (Kader, 1986), sin embargo los resultados obtenidos en este experimento no mostraron diferencias significativas. Una explicación a esta no concordancia de resultados será discutidos en secciones posteriores.

La acumulación de CO₂ y consumo de O₂ (relacionados a la tasa de respiración en productos mínimamente procesados) está directamente relacionada con la temperatura de almacenamiento del producto. No obstante, este proceso también se puede ver modificado de manera importante por el nivel de daño mecánico infringido al producto en las operaciones de pelado y cortado (Artés *et al.*, 2007). De manera general se recomienda cortar estos productos con instrumentos o maquinaria bien afilados que permitan un corte limpio y uniforme para disminuir el volumen de tejido dañado (Artés *et al.*, 2007). A este respecto, el proceso de elaboración industrial de jícama en tiras utiliza una cortadora Urshell de cuchillas similar a la utilizada para cortar papas a la francesa. El tamaño de las piezas de jícama son más grandes que las papas y la jícama tiene una mayor tendencia a la fractura durante el proceso de corte, observándose que las piezas obtenidas no presentaban un corte fino y liso de las piezas (menor volumen de

daño) y si una superficie rugosa de fractura que mostraba que las piezas se habían desgarrado y por tanto generaron un volumen de daño mayor (Figura 15). Estos defectos en el proceso de cortado, provoca un mayor estrés al producto (mayor tasa de respiración), mayor pérdida de fluidos internos que favorecerán el desarrollo de microorganismos, y probablemente una mayor tasa de pérdida de calidad en un corto plazo. Este volumen de daño también puede dificultar el observar los efectos de las atmosferas modificadas en la conservación del producto.

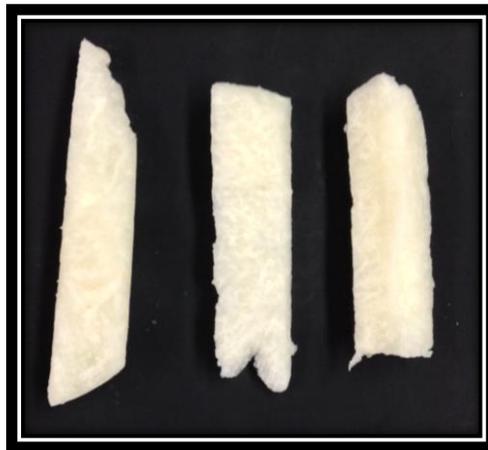


Figura 15. Forma y superficie de corte de piezas de jícama mínimamente procesada a nivel industrial. Se observan superficies de corte no regulares que incrementan el estrés de daño mecánico del tejido.

De manera particular la composición de O_2 en el espacio de cabeza de los empaques E2 ($3875 \text{ cm}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$) a 5 y 10°C , E1 ($381 \text{ cm}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$) y E4 ($>5000 \text{ cm}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$) a 10°C mostró una rápida disminución alcanzando sus valores más bajos en el día 4 y permaneció sin cambios aparentes hasta los 12 y 16 días (Figura 16). En el empaque E1, la disminución del O_2 a 5°C fue gradual manteniendo una concentración superior a 6.1 % durante los primeros 8 días para después caer hasta sus valores más bajos similares a los otros empaques. El

contenido de O₂ para los tratamientos E3 (5100 cm³/m²·día) y E4 (>5000 cm³/m²·día) a 5 °C fue superior a 10 % durante los primeros 4 días disminuyendo su concentración hasta un mínimo de 1.2 % al día 8.

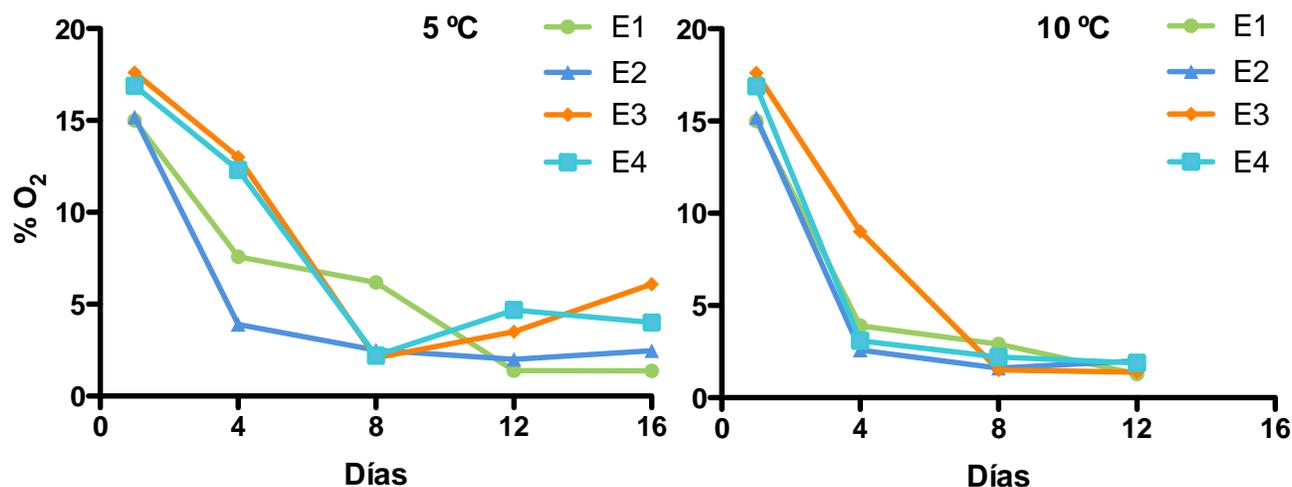


Figura 16. Efecto de la interacción empaque-tiempo de almacenamiento en la concentración de O₂ presente en el espacio de cabeza de empaques almacenados a 5 y 10 °C. Dónde E1= 381, E2= 3875, E3= 5100 y E4= >5000 cm³/m²·día.

Kim *et al.* (2005) reportaron una tendencia similar en la disminución de O₂ en empaques con una tasa de transmisión de oxígeno de 371 cm³/m²·día para lechuga romana mínimamente procesada almacenada a 5 °C, mientras que en empaque con una TTO superior a 700 cm³/m²·día la concentración del gas se mantuvo superior a 4 % en los primeros 8 días lo cual difiere con nuestros resultados encontrados en empaques de mayor permeabilidad. Es probable que esta diferencia de comportamiento se deba al mayor volumen de daño observado en la jícama mínimamente procesada.

El procesado mínimo de la jícama demanda consumos mayores de O₂ lo cual debe ser satisfecho por el oxígeno que se transfiere a través de los empaques. De acuerdo a esto se podría pensar que los empaques E3 y E4 suministraron un mejor aporte de O₂; no obstante, después de 4 días la demanda

de oxígeno del producto superó la trasmisión del mismo a través del empaque generando condiciones deficientes de este gas. Los empaques E3 y E4, de alta TTO, muestran una tendencia de incremento en la concentración de O₂ con valores superiores a 4.5 % a los 12 días a 5 °C. La baja concentración de O₂ estimulan la respiración anaerobia del producto que puede llevar a la acumulación de compuestos volátiles o productos de la fermentación como etanol y acetaldehído, que generan aromas desagradables en el producto, en adición a esto los bajos niveles de O₂ también pueden favorecer el desarrollo de microorganismos micro aerofílicos o de bacterias ácido lácticas que promueven el deterioro del producto como se discute en el siguiente apartado.

7.1.2. Cambios en los contenidos de BMA y BAL

La significancia estadística del efecto del tipo de empaque, la aplicación de atmósferas modificadas y la temperatura de almacenamiento en el crecimiento de bacterias mesófilas aerobias (BMA) y bacterias ácido lácticas (BAL) de la jícama mínimamente procesada durante su almacenamiento a 5 y 10 °C se muestra en la Tabla 7. La dinámica de este crecimiento se muestra en la Figura 17.

Tabla 7. Valor p y significancia estadística en el contenido de BMA y BAL.

Fuente de variación	Prob > F			
	5 °C		10 °C	
	BMA	BAL	BMA	BAL
Atmósfera	0.0024**	0.8645	<0.0001**	0.6558
Empaque	0.0052**	0.5878	0.0002**	0.3684
Atmósfera*Empaque	0.8523	0.5267	0.8224	0.4222
Tiempo de almacenamiento	<0.0001**	<0.0001**	<0.0001**	<0.0001**
Atmósfera*Tiempo de almacenamiento	0.0076**	0.0010*	0.0002**	0.0441*
Empaque*Tiempo de almacenamiento	0.2131	0.1486	0.0005**	0.6447
Atmósfera*Empaque*Tiempo de almacenamiento	0.1667	0.1516	0.0265	0.7204

*=P ≤ 0.05; **P ≤ 0.01

En ambas temperaturas de almacenamiento, el tipo de atmósfera activa tuvo un efecto significativo ($P < 0.05$) en el desarrollo de BMA pero no lo tuvo en el desarrollo de las BAL. A los 4 y 8 días de almacenamiento a 5 °C (Figura 17A y 17B) los productos empacados en atmósfera pasiva (R) tuvieron niveles de crecimiento menores respecto de los productos empacados en atmósfera activa (M) no obstante, los niveles de crecimiento registrados fueron altos desde el punto de vista de la conservación del producto (5 a 6 log a los 4 días y entre 6 y 7 log a los 8 días). Se ha indicado que las bacterias Gram negativas, particularmente las aeróbicas, son microorganismos sensibles a los cambios de CO_2 en el ambiente (Soliva-Fortuny *et al.* 2004); en este estudio se observó una correlación positiva entre el contenido de CO_2 y el crecimiento de las BMA (Pearson, $P < 0.01$) señalando que el incremento en el contenido de CO_2 en los empaques no inhibió el desarrollo de las BMA, así mismo también se observó que este tipo de microorganismos tampoco se vieron inhibidos en aquellas muestras empacadas en atmósferas activas (M) ni por la concomitante disminución del contenido de oxígeno en los empaques. Aunque una de las explicaciones a lo observado podría ser que dentro de las BMA se incluyen también bacterias anaerobias facultativas, las cuales pudieron haber logrado un mayor desarrollo y por ello las responsables del rápido crecimiento observado durante el almacenamiento. Soliva-Fortuny *et al.* (2004) reportaron la misma tendencia en el desarrollo de BMA en manzana mínimamente procesada. No obstante, también es posible que el nivel de daño mecánico infringido al producto también afecte el patrón de desarrollo de estos microorganismos.

El análisis estadístico mostró que el tipo de empaque influyó de manera significativa el crecimiento de las BMA, el empaque E4 (con mayor transmisión al oxígeno) mostraron los valores de crecimiento más altos a los 4 días (más de 6 log). No obstante los valores de crecimiento de los otros tipos de empaque también mostraron valores cercanos a los 6 log, resultados indicaron que entre mayor era la TTO en el empaque mayor era el desarrollo de BMA.

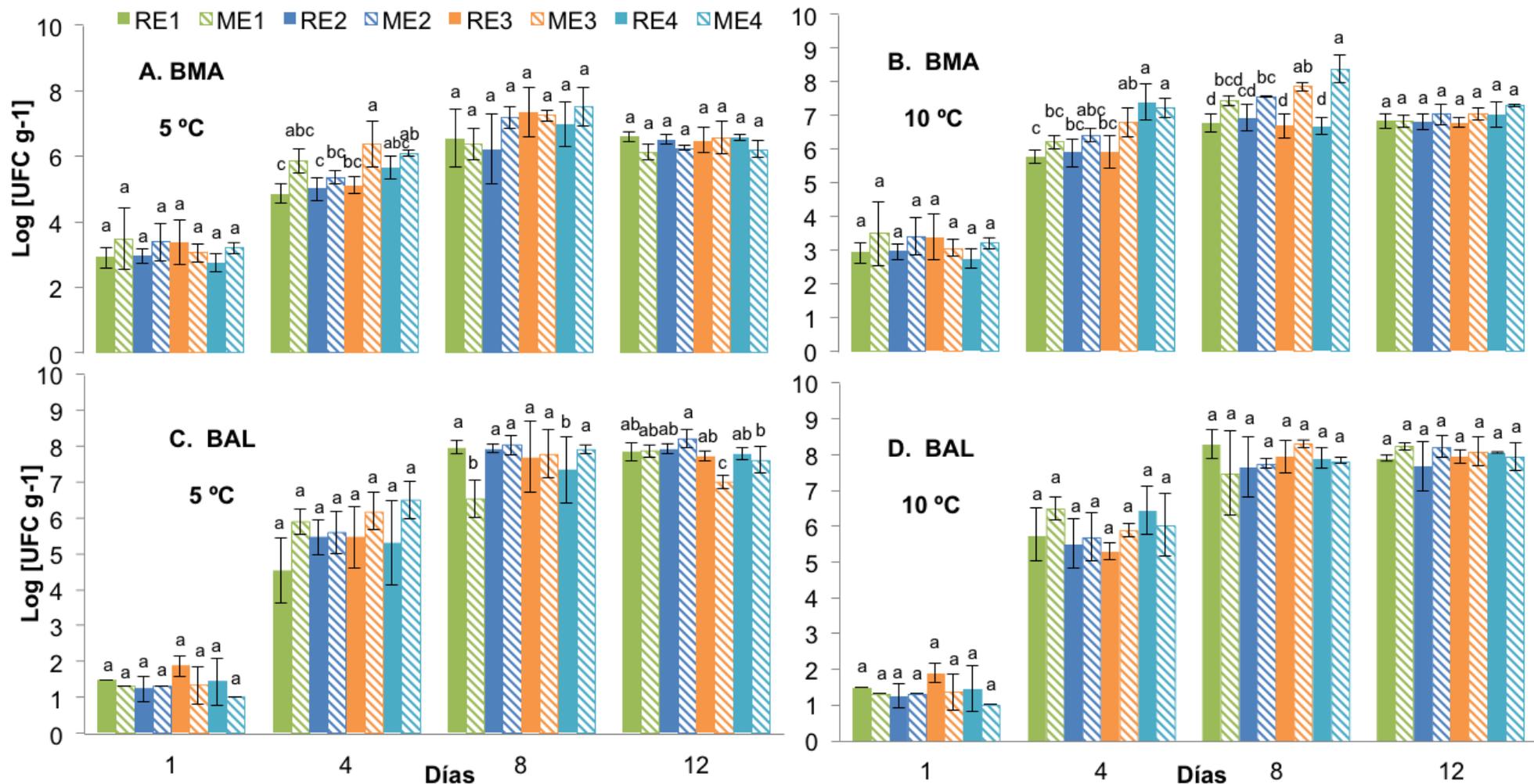


Figura 17. Evolución del crecimiento microbiano de BMA y BAL en jícama mínimamente procesada empacada en atmósferas modificadas en empaques con diferente tasa de transmisión al oxígeno y almacenados a 5 y 10 °C. Donde E1= 381, E2= 3875, E3= 5100, E4= >5000 cm³/m²-día. Atmósfera modificada pasiva (R: aire) y activa (M: 5% CO₂ en aire).

El efecto de la temperatura sobre el desarrollo de BMA mostró que a mayor temperatura mayor el desarrollo, esto está relacionado de acuerdo al rango de temperatura dentro del cual pueden crecer, para BMA se encuentra entre 10-45°C (FAO, 1991), por ello se observa un mayor desarrollo en el producto almacenado a 10 °C (Figura 17B).

El tiempo de almacenamiento influyó de manera significativa en el desarrollo de ambos microorganismos, la carga microbiana incremento durante el almacenamiento. La carga inicial de BMA fue mayor a $\approx 3 \log$ (UFC g⁻¹) en comparación con la carga de BAL, $\approx 1.4 \log$ (UFC g⁻¹).

De manera específica, a los 4 días de almacenamiento se observó un crecimiento ligeramente mayor de BMA los tratamientos E3 y E4 a 5 °C en atmósfera modificada activa (M) (Figura 17A), esto puede deberse principalmente al elevado contenido de oxígeno encontrado en dichos empaques (ver Figura 14) lo cual está asociado a sus altas TTO. De igual forma Allende *et al.* (2004) reportaron que el crecimiento de BMA, en espinacas, se vio favorecido durante el tiempo de almacenamiento por el uso de empaques con alta TTO.

La interacción atmósfera-tiempo de almacenamiento fue significativa en el desarrollo de BAL debido a que el mayor incremento en su desarrollo se observó en los primeros 4 días predominando en crecimiento en el tipo de atmósfera activa (M) esto se observó en ambas temperaturas (Figura 17 C y 17D). Amanatidou *et al.* (2000) reportaron la misma tendencia de desarrollo de BAL a través del tiempo en zanahoria mínimamente procesada; en nuestro experimento ni el tipo empaque y la temperatura de almacenamiento, tuvieron efecto significativo en el desarrollo de BAL.

A los 8 días el recuento para BAL alcanzó valores de 6.2-7.5 log y 6.6-8.3 log (UFC g⁻¹) a 5 y 10 °C respectivamente, y aunque el crecimiento de las BAL en los tratamientos ME1 y RE4 fue significativamente menor sus valores fueron muy altos (6.5 log UFC g⁻¹) en ambas temperaturas, ya que este tipo de bacterias son microaerofilas y desarrollan bien en presencia de CO₂ (Jay, 1986) y su crecimiento se favorece en condiciones de anaerobiosis; lo anterior se puede sustentar de acuerdo a la correlaciones encontrada, de manera positiva con la concentración

de CO₂ y negativa con el O₂ (Pearson, P <0.01) las cuales indicaron que el desarrollo de BAL se puede propiciar debido a las condiciones atmosféricas del empaque, consistentes en un alto contenido de CO₂ y bajo contenido en O₂. El patrón de crecimiento de las BAL mostró un crecimiento más acelerado respecto de las BMA durante su almacenamiento a 5 °C puesto que inician con una población de bacterias menor pero durante el almacenamiento alcanzan a las poblaciones de las BMA.

Amanatidou *et al.* (2000) reportaron una carga de hasta 7 log (UFC g⁻¹) para BAL en zanahoria mínimamente procesada a partir de los 5 días de almacenamiento, esta carga fue similar a lo encontrado en este estudio aunque esas poblaciones fueron encontradas a los 8 días de almacenamiento. Por otro lado Soliva-Fortuny *et al.* (2004) reportaron un menor desarrollo de BAL en manzana mínimamente procesada a diferencia de lo encontrado en nuestro experimento.

La alta carga microbiana encontrada los 8 días sugiere una baja calidad sanitaria en el producto y se asocia a productos con inicios de deterioro y desarrollo de malos olores (Fernandez-Escartín, 2008), por lo anterior se puede estimar un tiempo de vida de anaquel menor a 8 días para este producto, bajo las condiciones establecidas en este experimento.

7.1.3. Efecto del tipo de empaque, la atmósfera modificada y de la temperatura de almacenamiento en la calidad sensorial de jícama mínimamente procesada.

7.1.3.1. Calidad visual

Debido a que la vida de anaquel no fue la misma en los tratamientos a diferentes temperaturas; el análisis estadístico se llevó a cabo por separado para cada una de las temperaturas. La Tabla 8 muestra la significancia estadística de la comparación de los diferentes tratamientos estudiados en la calidad visual del producto.

Tabla 8. Valores de probabilidad de la calidad visual de JMP empacada en diferentes empaques, atmósferas y almacenada a diferentes temperaturas.

Fuente de variación	Calidad Visual	
	Prob > F	
	5 °C	10 °C
Atmósfera	0.8317	1.0000
Empaque	0.3395	<.0001**
Atmósfera*Empaque	0.0085**	0.0046**
Tiempo de almacenamiento	<.0001**	<.0001**
Atmósfera*Tiempo de almacenamiento	0.0139	0.3987
Empaque*Tiempo de almacenamiento	0.0272*	0.0005**
Atmósfera*Empaque*Tiempo de almacenamiento	<.0001**	0.0018

*=P ≤ 0.05; **P ≤ 0.01

La Figura 18 y 19 muestran los valores de aceptabilidad visual durante el almacenamiento en ambas temperaturas de almacenamiento así como el aspecto visual.

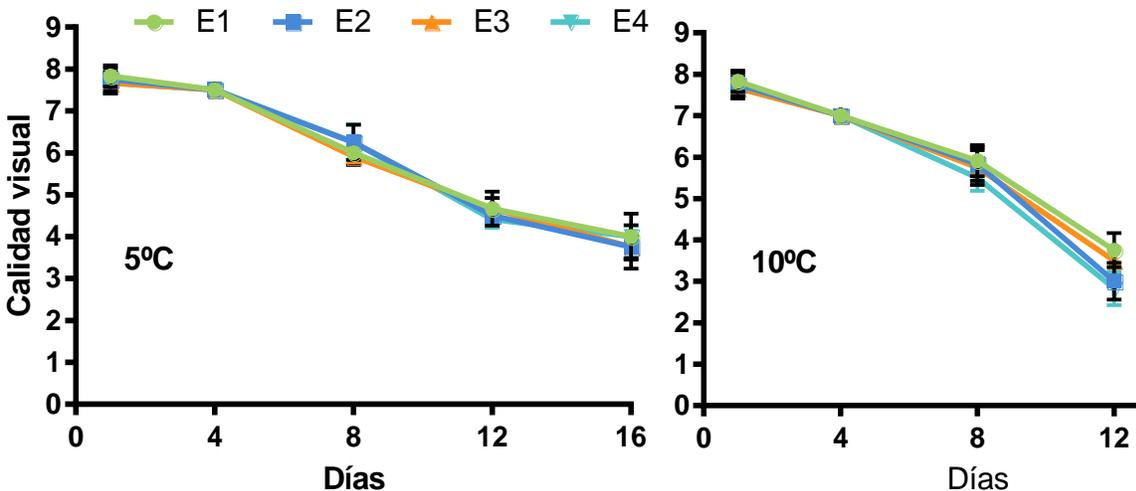


Figura 18. Interacción empaque-tiempo de almacenamiento en la Calidad visual de jícama mínimamente procesada almacenada a 5 y 10 °C durante 16 y 12 días respectivamente. E1= 381 cm³/m²·día, E2= 3875 cm³/m²·día, E3= 5100 cm³/m²·día, E4= >5000 cm³/m²·día. En la escala de aceptabilidad de calidad visual 9 = excelente, libre de defectos, 7 = buena, 5 = regular y 1 = extremadamente pobre.

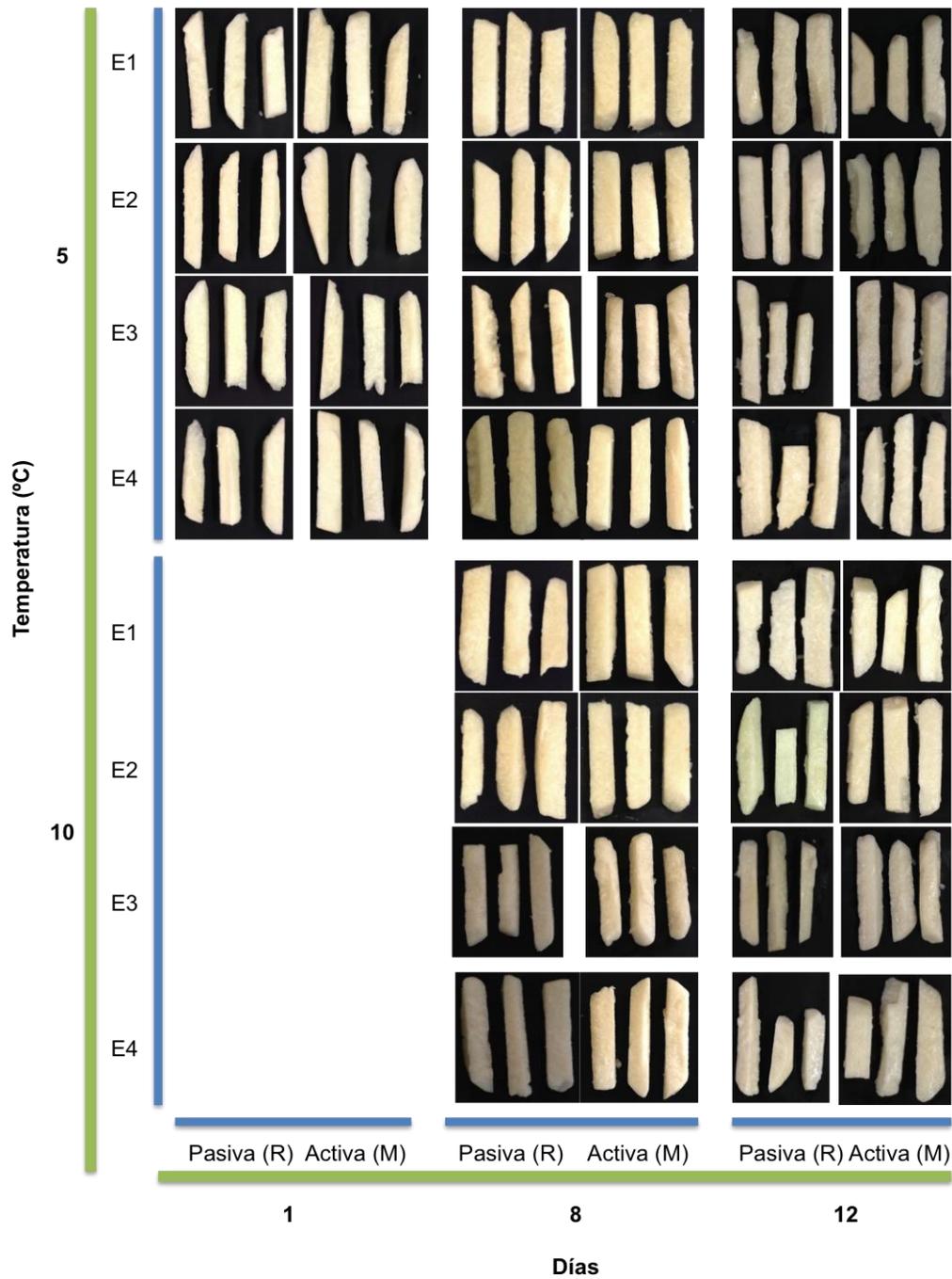


Figura 19. Aspecto visual de jícama mínimamente procesada empacada en atmósferas modificadas en diferentes empaques durante su almacenamiento a 5 y 10 °C. E1= 381, E2= 3875, E3= 5100, E4= >5000, $\text{cm}^3/\text{m}^2\cdot\text{día}$. Atmósfera modificada pasiva (R) y activa (M).

Estos resultados concuerdan con los reportados por Aquino-Bolaños *et al.* (2000), no obstante nuestros resultados indican que a los 12 días la calidad de la jícama fue pobre y extremadamente pobre para ambas temperaturas (Figuras 18 y 19).

El factor más importante que modificó la calidad visual del producto fue el tiempo de almacenamiento. Los productos analizados después de 4 días a 5 °C mostraron valores ligeramente mayores a calidad buena (>7) pero después de 8 días la calidad visual cayó a valores de entre regular y buena (6 a 7). Una tendencia similar (pero con valores menores) se observó en las muestras almacenadas a 10 °C. A los 12 días de almacenamiento la calidad visual fue baja, entre regular y mala.

Aunque la vida de anaquel no rebasó los 12 días de almacenamiento, si fue posible determinar que el almacenamiento a 5 °C es más recomendable que el almacenamiento a 10 °C.

La interacción empaque-tiempo de almacenamiento fue significativa y los mayores valores fueron registrados a los 4 y 8 días a 5 °C (7.5 a 7.8) no observándose diferencias entre los empaques estudiados, esta calidad disminuyó ligeramente a los 12 días donde se registraron valores de 5.9 a 6.3 (calidad regular) y 4.4 a 4.6 a los 16 días donde las muestras fueron evaluadas como de calidad mala. A 10 °C y 4 días de almacenamiento los valores registrados indicaron calidades visuales buenas (7.6 a 7.8) cayendo a los 8 días a valores de 7, y a valores de 5.5 a 5.9 a los 12 días señalando el límite de su vida de anaquel.

7.1.3.2. Oscurecimiento

El oscurecimiento es uno de los defectos indeseables más comunes en productos mínimamente procesados, estos cambios se asocian a la biosíntesis, oxidación y polimerización de compuestos fenólicos (Hanson y Havir 1979), donde la enzima fenilalanina amonio liasa (PAL) cataliza la primera reacción de

biosíntesis de compuestos fenólicos, estos posteriormente estarán involucrados en reacciones de oxidación que son catalizadas por la polifenol oxidasa (PPO) y peroxidasa (PPO) dando lugar a coloraciones oscuras en el tejido (Castañer *et al.*, 1996).

Los resultados indicaron alta significancia estadística con el factor tiempo y con la interacción empaque-tiempo de almacenamiento (Tabla 9). Los menores valores de oscurecimiento se registraron a los 4 y 8 días a 10°C (1.7 a 2.2) y los mayores valores fueron registrados a los 12 días (3 a 3.1) sin observarse diferencias entre los empaques utilizados (Figura 20). A 5 °C los menores valores fueron registrados a los 4 días, mientras que a los 8 días los empaques E2 y E4 mantuvieron valores bajos y los empaques E1 y E3 ya mostraron valores mayores de oscurecimiento (Figura 20), para el día 12 los valores fueron más altos y a los 16 días los empaques E3 y E4 registraron los valores mayores (alrededor de 4 y 5) mientras que los empaques E1 y E2 mostraron valores similares al día 12.

Tabla 9. Valores de probabilidad para oscurecimiento de JMP empacada en diferentes empaques y atmósferas modificadas a diferentes temperaturas.

Fuente de variación	Oscurecimiento	
	Prob > F	
	5 °C	10 °C
Atmósfera	0.0086**	0.6781
Empaque	<.0001**	0.0591
Atmósfera*Empaque	0.0086**	0.6689
Tiempo de almacenamiento	<.0001**	<.0001**
Atmósfera*Tiempo de almacenamiento	0.0004**	0.1799**
Empaque*Tiempo de almacenamiento	<.0001**	<.0001**
Atmósfera*Empaque*Tiempo de almacenamiento	0.0086**	0.6781

*=P ≤ 0.05; **P ≤ 0.01

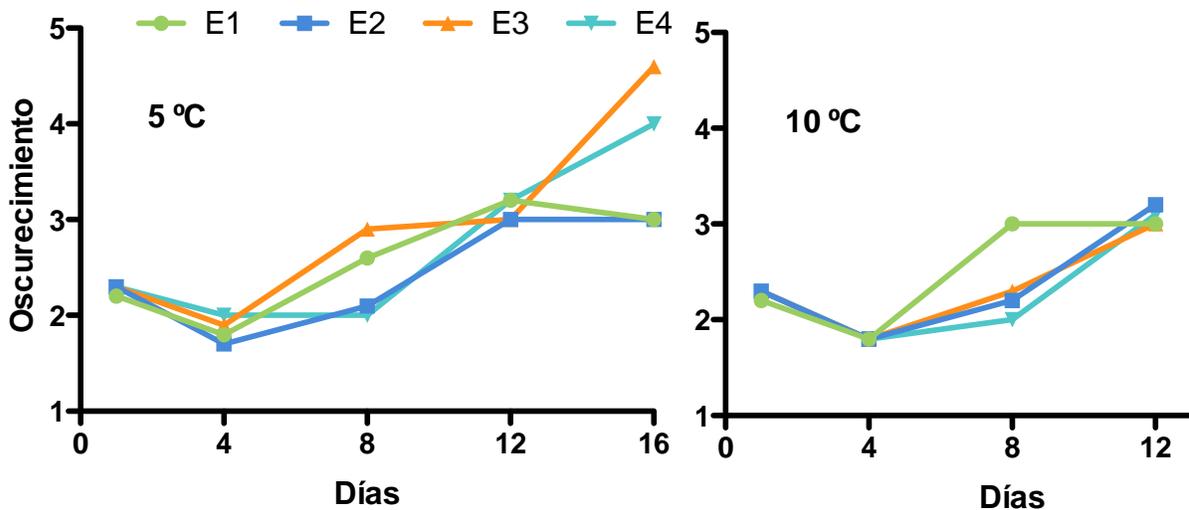


Figura 20. Efecto de la Interacción empaque-tiempo de almacenamiento en el desarrollo de oscurecimiento en jícama mínimamente procesada empacada en diferentes empaques y almacenados a 5 y 10 °C. E1= 381, E2= 3875, E3= 5100, E4= >5000 cm³/m²·día. En la escala de oscurecimiento 1 = ninguno (aparición de corte fresco), 5 = moderado y 9 = extremo.

Los resultados anteriores contrastan con lo reportado por Gang-Kim *et al.* (2005) quienes observaron menor oscurecimiento en lechuga romana romana MP al usar empaques con menor TTO.

Los empaques funcionan como una barrera frente a la difusión de los gases a través del material plástico, después de un periodo la atmósfera inicial se verá modificada debido al consumo de O₂ y generación de CO₂, así como por la transmisión de gases del material de empaque; de esta manera las condiciones de atmósfera modificada generadas dentro del empaque y la tasa de respiración pueden disminuir la respuesta a la nueva atmósfera (Kader, 1989). Diversos autores explican el efecto de las atmósferas modificadas sobre la actividad metabólica y las enzimas implicadas en el oscurecimiento del tejido, Murr y Morris (1974) encontraron que la actividad de PPO, en champiñones, fue inhibida competitivamente por el CO₂, Buescher *et al.* (1977) mostraron que una atmósfera de 20 % de CO₂ en aire evitó el oscurecimiento (debido al daño mecánico) en

ejotes cosechados mecánicamente, en tales condiciones el contenido de fenoles totales y la actividad de PPO se redujo considerablemente. Por su parte Hyodo y Yang (1971) demostraron que la actividad de PAL puede ser inhibida por concentraciones \geq a 5 % de CO₂.

En nuestro experimento, de manera general los empaques permitieron establecer el desarrollo de una atmósfera modificada de tal forma que la concentración de los gases alcanzada de manera conjunta con las bajas temperaturas, pudieron haber tenido un impacto sobre la actividad metabólica del producto limitando tanto la producción de compuestos fenólicos como las reacciones de oxidación que pudieran llevarse a cabo en el tejido previniendo el desarrollo de oscurecimiento.

A este respecto, la atmósfera modificada activa (M) mostró un menor oscurecimiento cuando los empaques fueron almacenados a 5 °C durante 8 días (Figura 21) mientras que en los empacados en atmósfera regular o pasiva (R) tuvieron un mayor oscurecimiento.

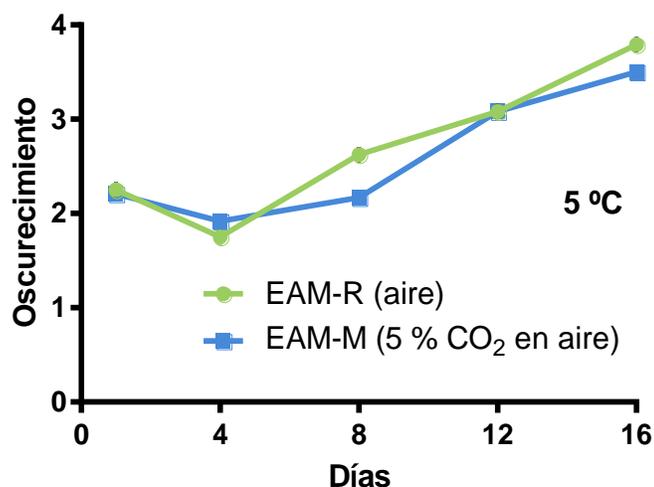


Figura 21. Efecto de la Interacción atmósfera-tiempo de almacenamiento en el desarrollo de oscurecimiento en jícama mínimamente procesada almacenada a 5 °C. Atmósfera modificada pasiva (R) y activa (M). En la escala de oscurecimiento 1 = ninguno (aparición de corte fresco), 5 = moderado y 9 = extremo.

7.1.3.3. Marchitez o pérdida de crujencia.

La pérdida de agua en frutas y hortalizas es un efecto indeseable que tiene un impacto negativo en la aceptabilidad y apariencia del producto fresco cortado, esta puede verse reflejada como ablandamiento, pérdida de la crujencia y de jugosidad.

El análisis estadístico general de esta variable señaló un efecto significativo ($P < 0.05$) en los factores atmósfera, empaque y tiempo de almacenamiento sobre el grado de marchitez en la jícama mínimamente procesada (Tabla 10).

Tabla 10. Valores de probabilidad para pérdida de crujencia de JMP empacada en diferentes empaques y atmósferas modificadas a diferentes temperaturas.

Fuente de variación	Marchitez	
	Prob > F	
	5 °C	10 °C
Atmósfera	0.0187*	0.0465*
Empaque	<.0001**	0.0287*
Atmósfera*Empaque	0.4847	0.5707
Tiempo de almacenamiento	<.0001**	<.0001**
Atmósfera*Tiempo de almacenamiento	0.0006**	0.0495*
Empaque*Tiempo de almacenamiento	<.0001**	0.3409
Atmósfera*Empaque*Tiempo de almacenamiento	0.358	0.4838

*= $P \leq 0.05$; ** $P \leq 0.01$

En términos generales el tiempo de almacenamiento tuvo efectos importantes en la pérdida de crujencia del producto, observándose una tendencia al incremento de la pérdida de la misma a medida que transcurrió el almacenamiento del producto a bajas temperaturas (Figura 22). No obstante, la pérdida de crujencia de las muestras de jícama empacada a 10 °C fue notablemente mayor (Figura 22).

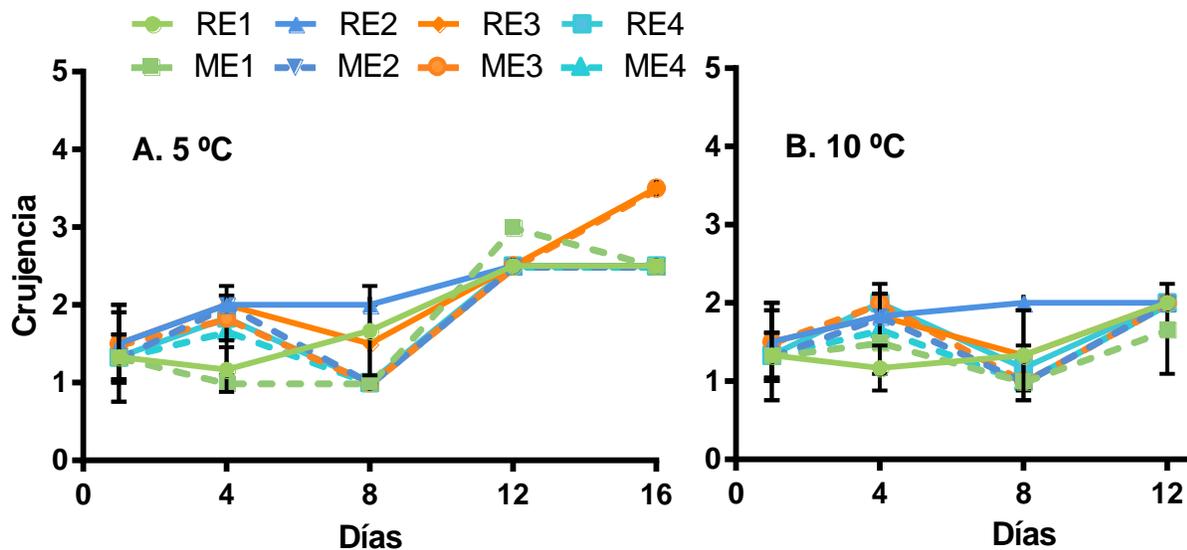


Figura 22. Cambios en la crujeancia de jícama mínimamente procesada empacada en atmósferas modificadas, diferentes empaques y almacenadas a 5 y 10 °C. E1= 381, E2= 3875, E3=, E4= >5000 cm³/m²·día. En la escala de pérdida de crujeancia 1 = ninguna, 5 = moderada y 9 = extrema. Atmósfera modificada pasiva (R) y activa (M).

7.1.3.4. Consistencia Viscosa en el producto

De acuerdo a los análisis estadísticos obtenidos se observó un efecto altamente significativo ($P < 0.05$) de los factores atmósfera, empaque, tiempo de almacenamiento y la interacción empaque-tiempo de almacenamiento sobre el desarrollo de una consistencia viscosa en la jícama mínimamente procesada (Tabla 11).

De manera global, el tipo de atmósfera y la temperatura de almacenamiento fueron factores determinantes en el desarrollo de una consistencia viscosa en la superficie de la jícama. Los resultados indicaron el desarrollo de consistencia fue viscosa significativamente mayor en los tratamientos empacados en atmósfera activa (M) y a 5 °C, este efecto fue ligeramente mayor, en ambos tipos de atmósfera (R y M) durante el almacenamiento a 10 °C (Figura 23).

Tabla 11. Valores de probabilidad para consistencia viscosa en la JMP empacada en diferentes empaques y atmósferas modificadas a diferentes temperaturas.

Fuente de variación	Desarrollo de Viscosidad	
	Prob > F	
	5 °C	10 °C
Atmósfera	0.0011**	0.0018**
Empaque	0.008**	0.0018**
Atmósfera*Empaque	0.07	0.103
Tiempo de almacenamiento	<.0001**	<.0001**
Atmósfera*Tiempo de almacenamiento	0.0554	0.1243
Empaque*Tiempo de almacenamiento	<.0001**	<.0001**
Atmósfera*Empaque*Tiempo de almacenamiento	0.0002**	0.1132

*=P ≤ 0.05; **P ≤ 0.01

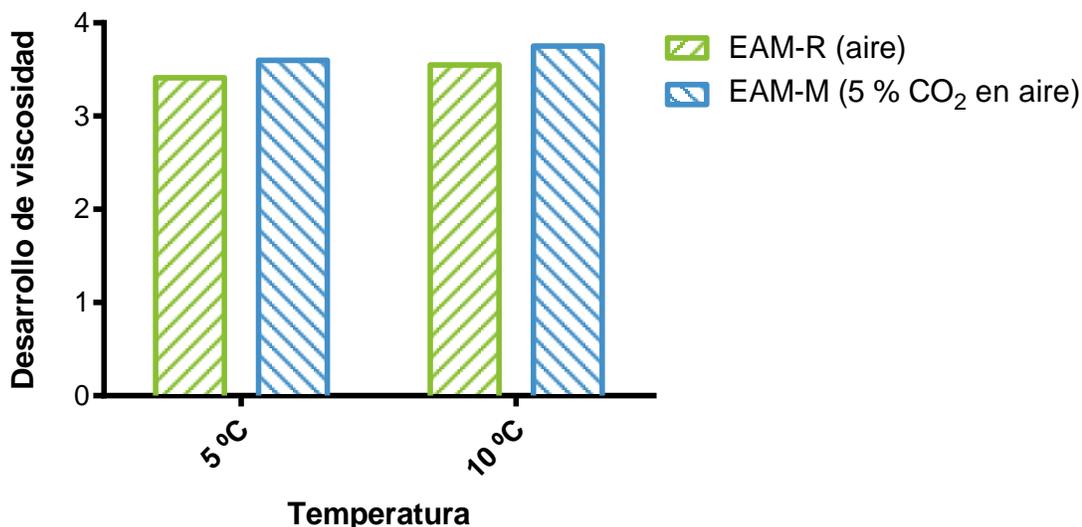


Figura 23. Desarrollo de viscosidad en la superficie de jícama mínimamente procesada empacada en atmósferas modificadas y almacenada a 5 y 10 °C durante 12 y 16 días respectivamente. EAM es empacado en atmósfera modificada. En la escala de desarrollo de viscosidad 1 = ninguno, 5 moderado (comienza a ser rechazable) y 9 = extremo.

El incremento de la consistencia viscosa en la muestras se observó a medida que transcurrió el tiempo de almacenamiento (Figura 24). Durante los primeros 4 días de almacenamiento la jícama no mostró desarrollo de esta consistencia viscosa en ambas temperaturas.

A los 8 días, los tratamientos almacenados a 5 °C retardaron significativamente el desarrollo de este defecto en comparación con las muestras almacenadas a 10 °C. De acuerdo a los datos microbiológicos discutidos, un valor alto en el desarrollo de esta consistencia, se puede asociar directamente con un mayor deterioro microbiano en el producto, es decir, a mayor incremento en la carga de BMA y BAL mayor desarrollo de consistencia viscosa (Pearson, $P < 0.01$).

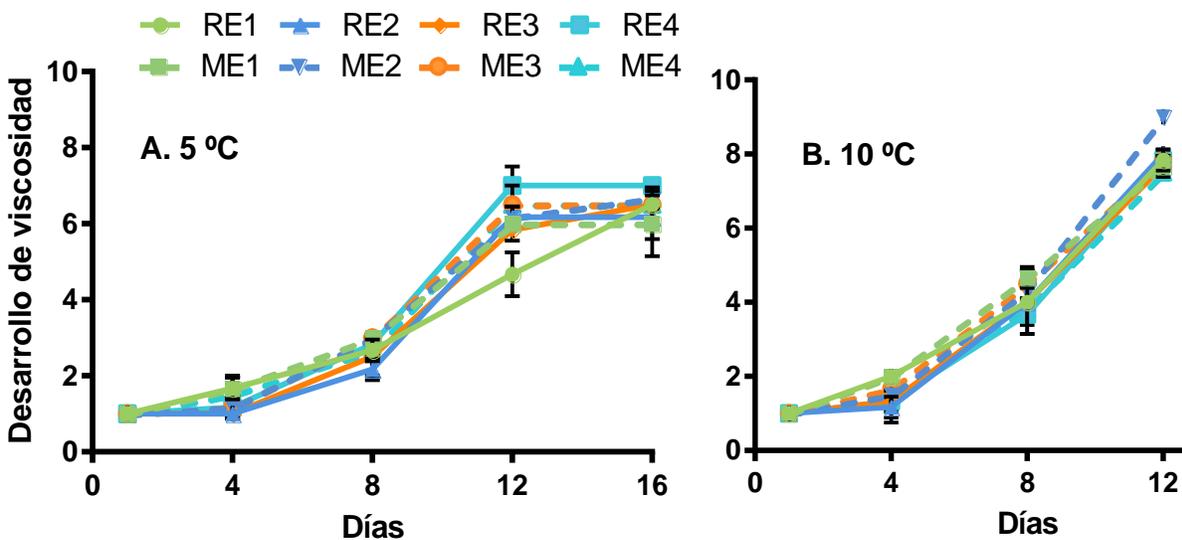


Figura 24. Desarrollo de apariencia viscosa en la superficie de jícama mínimamente procesada empacada en atmósferas modificadas en empaques con diferente tasa de transmisión al oxígeno almacenados a 5 y 10 °C. E1= 381, E2= 3875, E3= 5100, E4= >5000 cm³/m²·día. En la escala de desarrollo de viscosidad 1 = ninguno, 5 moderado (comienza a ser rechazable) y 9 = extremo. Atmósfera modificada pasiva (R) y activa (M).

El producto a los 12 días de almacenamiento incrementó significativamente (Tukey, $P \leq 0.05$) el desarrollo de viscosidad, se observó mayor desarrollo durante el almacenamiento a 10 °C donde los tratamientos fueron calificado con una severa consistencia viscosa (Figura 24B).

7.1.3.5. Desarrollo de malos olores

El análisis estadístico general del efecto de los factores estudiados sobre el desarrollo de malos olores se muestra en la Tabla 12. Los factores que más influyeron significativamente fueron el tipo de empaque y el tiempo de almacenamiento así como la interacción empaque-tiempo de almacenamiento. El desarrollo de mal olor es un indicativo de deterioro del producto, este puede deberse a la acumulación de productos de la respiración anaerobia como etanol y acetaldehído (Martin-Belloso y Soliva-Fortuny. 2006), también puede ser atribuido a la actividad microbiana que contribuye al desarrollo de malos olores y por tanto relacionada directamente con la carga de BMA y BAL.

Tabla 12. Valores de probabilidad para desarrollo de malos olores en JMP empacada en diferentes empaques y atmósferas modificadas a diferentes temperaturas.

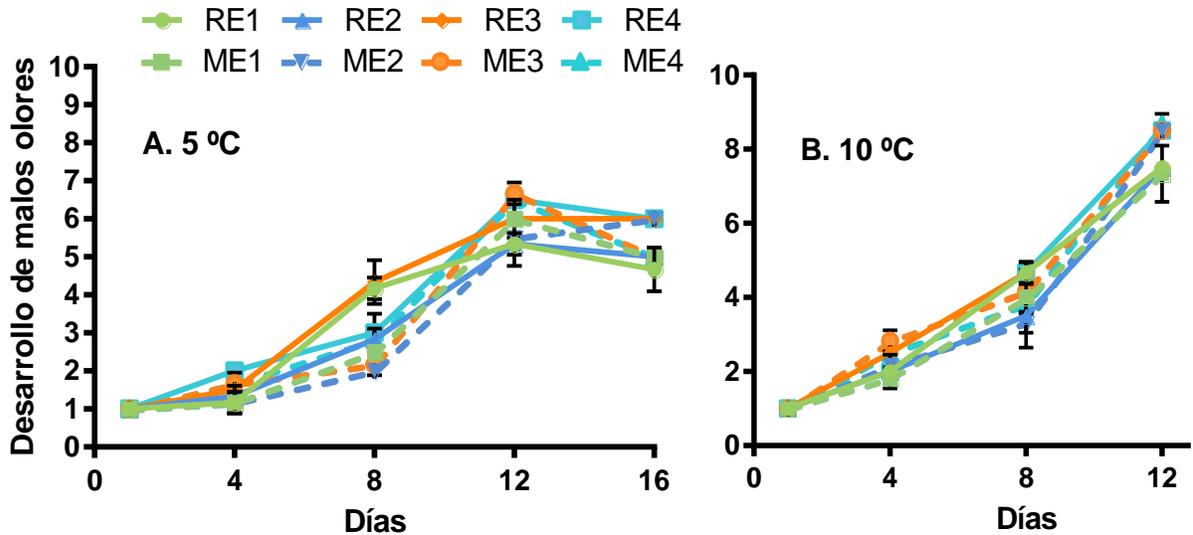
Fuente de variación	Desarrollo de malos olores	
	Prob > F	
	5 °C	10 °C
Atmósfera	<.0001**	0.4603
Empaque	<.0001**	<.0001**
Atmósfera*Empaque	0.0016**	0.0077**
Tiempo de almacenamiento	<.0001**	<.0001**
Atmósfera*Tiempo de almacenamiento	<.0001**	<.0001**
Empaque*Tiempo de almacenamiento	<.0001**	<.0001**
Atmósfera*Empaque*Tiempo de almacenamiento	<.0001**	0.0587

*= $P \leq 0.05$; ** $P \leq 0.01$

Las Figuras 25 A y 25 B muestran la evolución de los malos olores de las muestras durante el almacenamiento a 5 y 10 °C respectivamente. Durante el primer día de almacenamiento el producto fue calificado libre de malos olores, esto indicó excelentes características de aroma similares a las de un producto fresco cortado. A los 4 días comenzó a evidenciarse cambios en el aroma del producto almacenado en ambas temperaturas, sin embargo, estos aromas no fueron objetables en ninguno de los tratamientos, observándose que las muestras empacadas en E1 y E2 mostraron los menores cambios en el aroma (Figura 25 A y B).

Después de 8 días de almacenamiento se manifestaron efectos significativos en el desarrollo de aromas dependiendo de la atmósfera. Los tratamientos almacenados a 5 °C y con atmósfera activa (M) fueron calificados con el menor desarrollo de malos olores en el producto, los tratamientos RE1 y RE3 mostraron el mayor desarrollo de malos olores comenzando a ser objetable (Figura 25A), el producto empacado en atmósfera M mostró el menor valor, siendo calificado con un aroma aceptable (Figura 25A), a su vez se observó el mismo comportamiento para ME2 a 10 °C (Figura 25B), sin embargo este producto fue calificado con un ligero desarrollo de mal olor, y los demás tratamientos presentaron un mayor desarrollo en este parámetro sin mostrar diferencias significativas entre ellos.

A los 12 días de almacenamiento el producto ya mostraba un desarrollo moderado (comenzando a ser objetable) y severo (objetable) durante el almacenamiento a 5 y 10 °C respectivamente; aquellos tratamientos con atmósfera activa (M) propiciaron el mayor desarrollo de mal olor en el producto. A los 16 días el aroma en el producto almacenado a 5 °C fue completamente objetable.



16

Figura 25. Desarrollo de malos olores en la jícama mínimamente procesada empaquetada en atmósferas modificadas en empaques diferente tasa de transmisión al oxígeno almacenados a 5 y 10 °C. E1= 381, E2= 3875, E3= 5100, E4= >5000 cm³/m²·día. En la escala de desarrollo de malos olores 1 = ninguno, 5 moderado (comienza a ser rechazable). Atmósfera modificada pasiva (R) y activa (M).

7.1.4. Cambios objetivos de textura.

Uno de los atributos de calidad en la jícama fresca cortada es su textura crujiente (Mudahar y Jen, 1991) por ello fue importante conocer el impacto del procesamiento mínimo sobre este parámetro pues es muy común observar cambios en la textura durante su almacenamiento. Adicionalmente, también se ha indicado que los cambios en la textura de la raíz de jícama intacta es uno de los síntomas típicos del daño por frío, (Jackman y Stanley, 1995), por otra parte también estos cambios se han atribuido a la tasa de transferencia de agua que se pierde de las vacuolas de las células dañadas durante el proceso de corte y se difunde a través del tejido, así como a la pérdida de vapor de agua desde la superficie del tejido a la atmósfera del empaque, por lo que es importante mantener una temperatura baja constante y un empaque apropiado para la retención de humedad (Artés *et al.* 2007).

En la Tabla 13 se muestran los valores de probabilidad de los efectos de los factores estudiados y sus interacciones. Solamente el factor tiempo de almacenamiento fue significativo en todos los tratamientos y temperaturas estudiadas.

Tabla 13. Valor p y significancia estadística de los efectos de los factores estudiados en la firmeza de jícama mínimamente procesada.

Fuente de variación	Firmeza	
	Prob > F	
	5 °C	10 °C
Atmósfera	0.3375	0.1777
Empaque	0.1956	0.4601
Atmósfera*Empaque	0.6052	0.2088
Tiempo de almacenamiento	<0.0001**	<0.0001**
Atmósfera*Tiempo de almacenamiento	0.8162	0.9644
Empaque*Tiempo de almacenamiento	0.4533	0.8792
Atmósfera*Empaque*Tiempo de almacenamiento	0.7885	0.9613

*=P ≤ 0.05; **P ≤ 0.01

Los resultados de textura se expresaron en terminos de trabajo (J) que representan la fuerza necesaria para desplazar una masa (mg) un milímetro de longitud en la misma dirección en que se aplica la fuerza, lo anterior es equivalente a la firmeza del producto. En los resultados obtenidos se observó que la firmeza se mantuvo relativamente constante en todos los tratameintos durante los primeros 8 días de almacenamiento (Figura 26), posteriormente a los 12 días se observó una disminución significativa de este parámetro en ambas temperaturas (Tukey, P ≤ 0.05), en este periodo la disminución en la firmeza de la jicama puede ser atribuida al daño por frió (Cantwell *et al.*, 2002) pues ocurren una serie de cambios en la estructura y ordenamiento molecular de los lípidos de las membranas (Raison y Orr ,1990). Nuestros resultados concuerdan con lo reportado por Aquino-Bolaños *et al.* (2000), quienes no observaron diferencias significativas en la textura de jicama mínimamente procesada almacenada durante 10 días a 0, 5 y 10 °C.

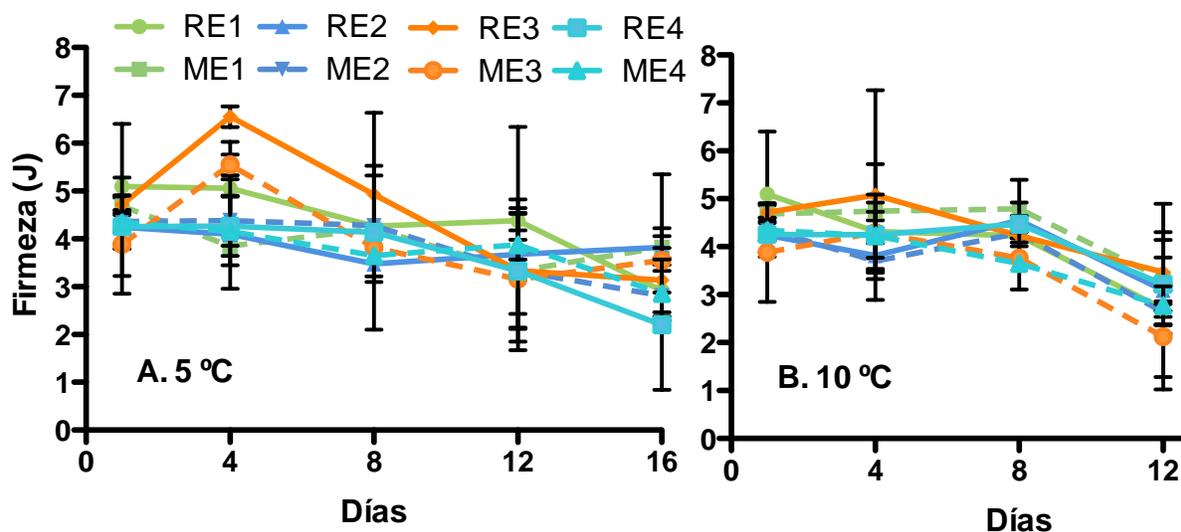


Figura 26. Evolución de la firmeza de jícama mínimamente procesada empacada en atmósferas modificadas en empaques con diferente tasa de transmisión al oxígeno almacenados a 5 y 10 °C. E1= 381, E2= 3875, E3= 5100, E4= >5000 cm³/m²·día. Atmósfera modificada pasiva (R) y activa (M).

De acuerdo a los resultados no se observaron diferencias significativas entre los tipos de empaque ni entre los tipos de atmósfera sobre la textura, no obstante en cualquiera de los tratamientos se generaron condiciones de atmósfera modificada debido al consumo de O₂ y producción de CO₂ por efecto de la respiración del producto y de los microorganismos y a la difusión de los gases a través del empaque.

De manera similar a lo observado en nuestro experimento, algunos autores también han reportado los efectos benéficos del uso de atmósferas modificadas en el mantenimiento de la firmeza de productos mínimamente procesados. A diferencia de lo encontrado en nuestro experimento, Amanatidou *et al.* (2000) encontraron diferencias significativas en la textura de zanahoria mínimamente procesada almacenada durante 12 días cuando fueron EAM pasivas y activas, bajo condiciones EAM activas con atmósferas de 1% O₂ + 10% CO₂ y de 90% O₂ + 10% CO₂ reportaron tanto la retención como un incremento en la firmeza del producto; mientras que en condiciones de EAM pasiva reportaron una pérdida significativa en este parámetro. En contraste con lo anterior, Ayhan *et al.*

(2008) reportaron para zanahoria mínimamente procesada una disminución significativa de la firmeza hasta los 14 días, donde los tratamientos con atmósfera pasiva (aire) matuvieron en mayor grado la firmeza en comparación con los tratamientos de atmósfera activa (5% O₂, 10% CO₂, 85% N₂ y 80% O₂, 10% CO₂, 10% N₂).

7.1.5. Cambios objetivos de color.

La significancia estadística de los factores para la medida objetiva del color a través del ángulo de matiz (Hue) se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14. Valor p y significancia estadística del ángulo de matiz de jícama mínimamente procesada.

Fuente de variación	Ángulo de matiz	
	Prob > F	
	5 °C	10 °C
Atmósfera	0.3375	0.5520
Empaque	0.1956	<0.0001**
Atmósfera*Empaque	0.6052	0.0518
Tiempo de almacenamiento	<0.0001*	<0.0001**
Atmósfera*Tiempo de almacenamiento	0.8162	0.6455
Empaque*Tiempo de almacenamiento	0.4533	0.0228*
Atmósfera*Empaque*Tiempo de almacenamiento	0.7885	0.1320

*=P ≤ 0.05; **P ≤ 0.01

Los resultados en el color de jícama mínimamente procesada almacenada a 5 y 10 °C se indican en el gráfico de interacción empaque-tiempo de almacenamiento (Figura 27). El rango en los valores del ángulo de matiz encontrado en nuestros resultados indica la región amarilla en el eje del color, entre más alto es el valor el color se acerca a la región verde en el eje, lo anterior pudiera estar relacionado al desarrollo de viscosidad cuyas tonalidades son verdosas (que anteriormente ha sido asociada al deterioro microbiano) esto debido

a la correlación positiva encontrada (Pearson, $P < 0.001$) la cual nos indica que si los valores de Hue incrementan el desarrollo de viscosidad también.

En términos generales se observó un incremento del valor Hue durante el almacenamiento en ambas temperaturas con interacciones en el tipo de empaque, este incremento puede ser mayor o menor como lo observado en la interacción significativa cuando la jícama fue almacenada a 10 °C (Tukey, $P \leq 0.05$) de acuerdo a esto a los 8 días se percibió que los tratamientos E2 a 5°C (Figura 27A) y E2 y E4 a 10°C (Figura 27B) mantuvieron constante el valor de Hue, mientras que para los demás tratamientos se presentó una mayor tendencia al incremento de este valor que continuó en los días posteriores para todos los tratamientos, siendo mayor en los empaques E3 y E1.

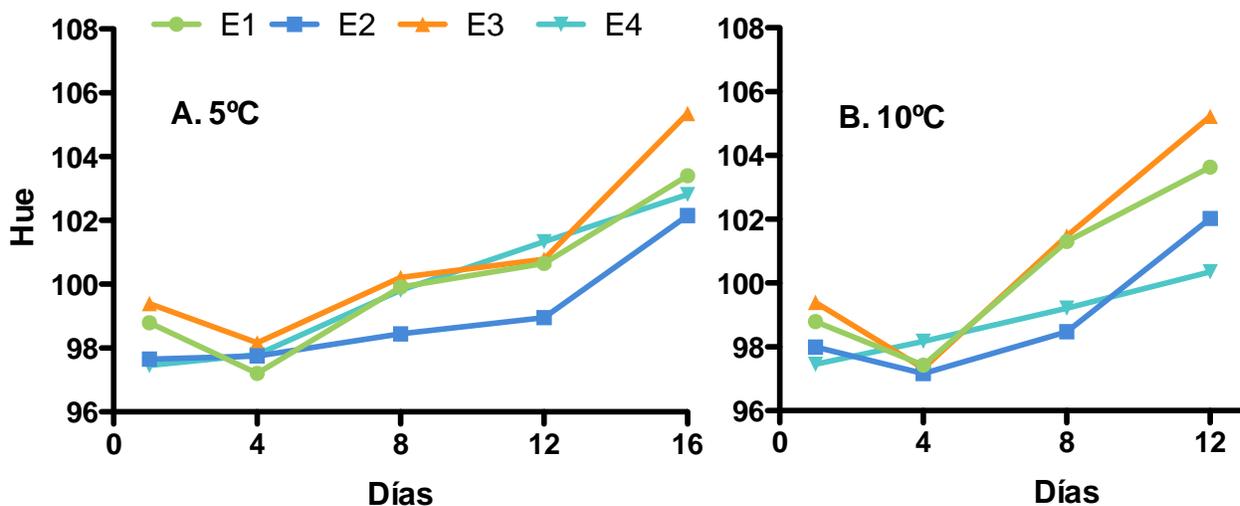


Figura 27. Valores del ángulo de matiz (hue) en jícama mínimamente procesada empacada en empaques con diferente tasa de transmisión al oxígeno almacenados a 5 y 10 °C. Hue es el ángulo de matiz. E1= 381, E2= 3875, E3= 5100, E4= >5000 cm³/m²·día.

De acuerdo a los resultados, el incremento en los valores Hue estaría indicando cambios del color que pudieran estar relacionados con el desarrollo de

la consistencia viscosa, debido a que en algunos tratamientos almacenados a 10°C se observaron mayores valores de Hue coincidentes con el mayor desarrollo de viscosidad observado a esta temperatura, sin embargo es difícil establecer una fuerte relación entre ambos debido a que el incremento en Hue no fue una tendencia global en todos los tratamientos.

7.1.6. Cambios en el contenido de SST.

Los resultados del análisis de varianza para observar los efectos de los factores estudiados se muestran en la Tabla 15. De acuerdo a lo encontrado se observó significancia estadística en el tipo empaque y el tiempo de almacenamiento para ambas temperaturas. En esta evaluación tampoco se observaron diferencias significativas de la temperatura de almacenamiento.

Tabla 15. Valor p y significancia estadística en el contenido de sólidos solubles totales (° Brix) en jícama mínimamente procesada.

Fuente de variación	° Brix	
	Prob > F	
	5 °C	10 °C
Atmósfera	0.6041	0.0574
Empaque	<0.0001**	<0.0001**
Atmósfera*Empaque	0.0591	0.4164
Tiempo de almacenamiento	<0.0001**	<0.0001**
Atmósfera*Tiempo de almacenamiento	0.8471	0.1049
Empaque*Tiempo de almacenamiento	0.0806	0.1237
Atmósfera*Empaque*Tiempo de almacenamiento	0.2294	0.6217

*=P ≤ 0.05; **P ≤ 0.01

El tipo de empaque influyó de manera significativa en el contenido de SST, como se observa en la Figura 28; la jícama empacada en los tratamientos E2 y E4 mostró un mayor contenido de azúcares (°Brix), esto ocurrió en ambas temperaturas de almacenamiento.

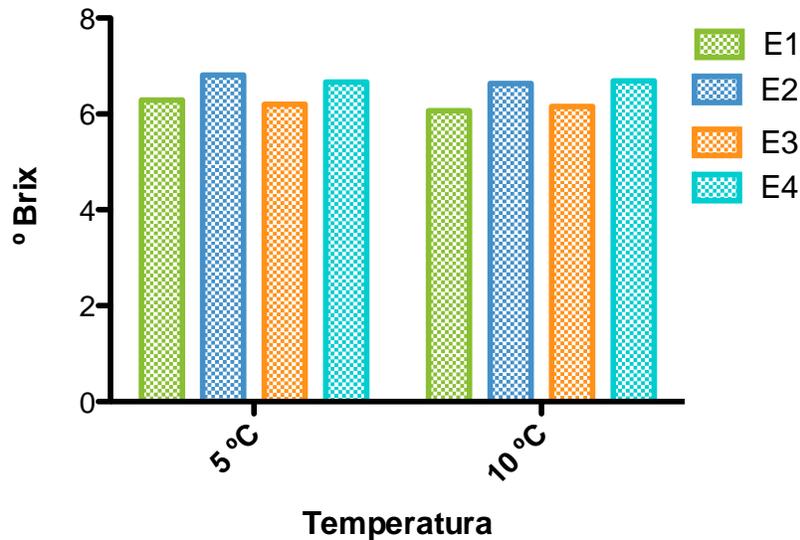


Figura 28. Contenido de SST (°Brix) en jícama mínimamente procesada empacada en empaques con diferente tasa de transmisión al oxígeno almacenados a 5 y 10 °C. E1= 381, E2= 3875, E3= 5100, E4= >5000 cm³/m²·día.

Respecto del tiempo de almacenamiento, hubo una ligera tendencia de incremento en los °Brix en los productos almacenados en ambas temperaturas durante el tiempo de almacenamiento (Figura 29), lo anterior puede estar relacionado con el aumento en la actividad metabólica del producto debido a la demanda de síntesis de metabolitos involucrados en el proceso de cicatrización del tejido dañado así como en el sistema de defensa frente a la presencia de patógenos, en este proceso el almidón puede ser transformado en azúcares (Cemerolu *et al.*, 2001) que da como resultado un mayor contenido de SST.

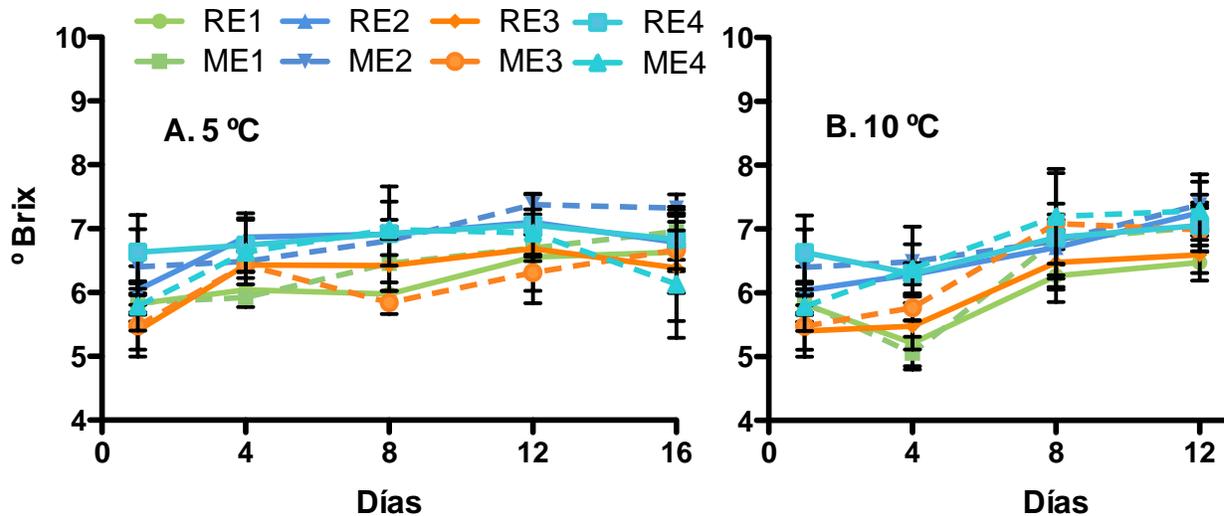


Figura 29. Evolución de contenido de SST (°Brix) en jícama mínimamente procesada empacada en empaques con diferente tasa de transmisión al oxígeno almacenados a 5 y 10 °C. E1= 381, E2= 3875, E3= 5100, E4= >5000 cm³/m²·día. Atmósfera modificada pasiva (R: aire) y activa (M: 5% CO₂ en aire).

No se observaron diferencias significativas entre los tratamientos de atmósferas pasivas y activas. Ayhan et al. (2008) reportaron resultados similares en zanahoria mínimamente procesada, quienes no encontraron diferencias significativas entre ninguno de los tratamientos en atmósferas modificadas, de igual forma reportaron una tendencia de incremento en los °Brix durante el almacenamiento.

7.1.7. Cambios en el Contenido de Materia seca.

Los resultados de los valores de probabilidad del análisis de varianza efectuado para determinar el efecto de los factores en estudio sobre los cambios en el contenido de materia seca (% MS) de la jícama mínimamente procesada almacenada a 5 y 10 °C se muestran en la Tabla 16.

Tabla 16. Valores de p y significancia estadística en el porcentaje de materia seca en jícama mínimamente procesada empacada en diferentes empaques y atmosferas modificadas y almacenadas a diferentes temperaturas.

Fuente de variación	% MS	
	Prob > F	
	5 °C	10 °C
Atmósfera	0.7772	0.9347
Empaque	0.1535	0.0004**
Atmósfera*Empaque	0.2547	0.0022**
Tiempo de almacenamiento	<0.0001**	<0.0001**
Atmósfera*Tiempo de almacenamiento	0.0125*	0.0036**
Empaque*Tiempo de almacenamiento	0.0343*	0.0002**
Atmósfera*Empaque*Tiempo de almacenamiento	0.1852	0.4164

*=P ≤ 0.05; **P ≤ 0.01

El factor más importante que influyó en el contenido de materia seca de las muestras fue el tiempo de almacenamiento y en menor medida su interacción atmósfera-tiempo de almacenamiento. La Figuras 30 A y 30 B muestran los cambios de esta variable en ambas temperaturas de almacenamiento. Durante los primeros 8 días se observó una franca reducción del peso seco del producto, con una ligera tendencia de menor disminución en las muestras tratadas con atmósferas modificadas en ambas temperaturas de almacenamiento. La disminución en el peso seco está relacionado con la pérdida de agua que puede ser identificado visualmente como marchitez en el producto, por lo que los resultados en ambas evaluaciones coinciden en que los tratamientos EAM activas (M) minimizaron esta pérdida lo cual pudiera estar relacionada con un adecuado equilibrio atmosférico.

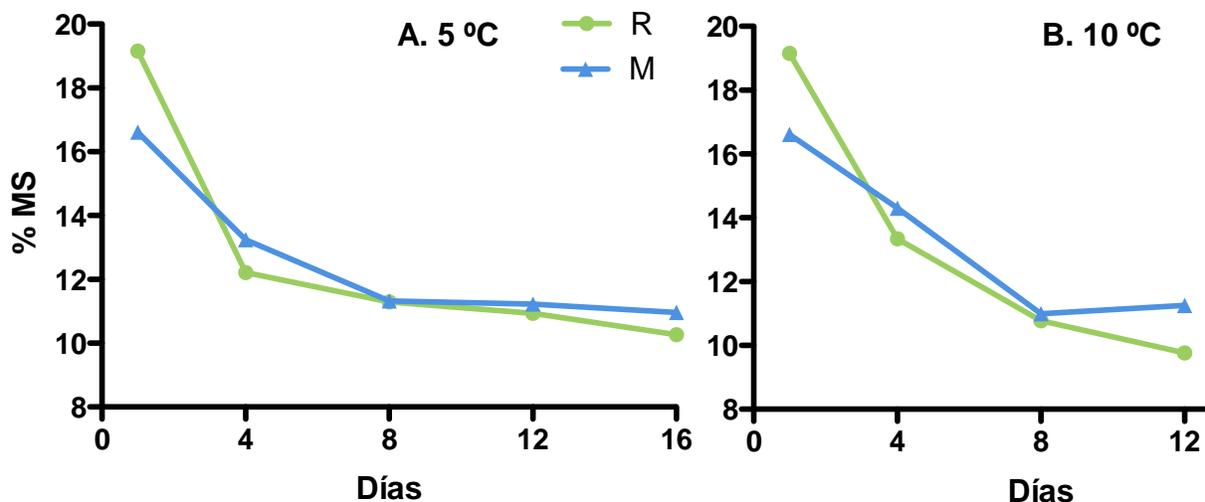


Figura 30. Interacción atmósfera-tiempo de almacenamiento en el porcentaje de materia seca de jícama mínimamente procesada empaçada en en atmósferas modificadas almacenada a 5 y 10 °C. Atmósfera modificada pasiva (R) y activa (M).

Por otra parte, también la interacción empaque*tiempo de almacenamiento mostró una disminución en el porcentaje de MS asociada al tipo de empaque, el producto empaçado en E2 y almacenado a 5 °C (Figura 31A) mostró una menor reducción de este parámetro mientras que la jícama del empaque E4 almacenada a 10 °C fue la que mostró mayor retraso de pérdida de materia seca (Figura 31B).

Los cambios en el contenido de materia seca en productos mínimamente procesados no se habían analizado en ninguno de estos productos. Desde el punto de vista fisiológico parece ser relevante que ocurra una caída tan importante de materia seca durante el almacenamiento de estos productos lo cual señala la gran pérdida de materiales que sufre el producto y que pone en evidencia la fuerte condición de estrés que sufre el producto y que lo expone a una muerte acelerada en la que se involucran tanto el metabolismo acelerado del propio producto con su daño mecánico y la proliferación de microorganismos, aspectos que no son controlado ni por la temperatura ni por alternativas tecnológicas disponibles.

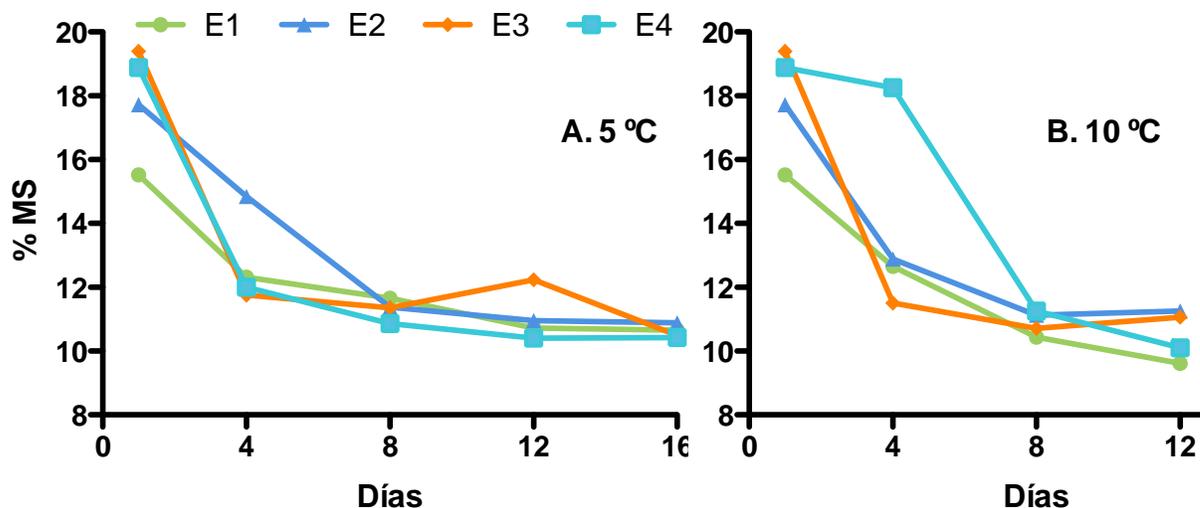


Figura 31. Interacción empaque-tiempo de almacenamiento en el porcentaje de materia seca de jícama mínimamente procesada empacada en en empaques con diferente tasa de transmisión al oxígeno almacenados a 5 y 10 °C. E1= 381, E2= 3875, E3= 5100, E4= >5000 cm³/m²·día.

7.1.8. Cambios en la liberación de electrolitos.

La liberación de electrolitos es generalmente considerada como una medición indirecta de la permeabilidad o integridad de la membrana celular y ha sido usada para predecir el daño por frío en frutas y vegetales (*Jiang et al.*, 2009; *Hong et al.*, 2000). La pérdida de la integridad de la membrana en frutos y hortalizas debido al daño por frío resulta en un incremento en la tasa de liberación de iones.

Los resultados del análisis de varianza del efecto de los factores analizados sobre el porcentaje de liberación de electrolitos (LE) en la jícama mínimamente procesada almacenada a 5 y 10 °C se muestran en la Tabla 17.

Tabla 17. Valor probabilidad y significancia estadística en el porcentaje de liberación de electrolitos en jícama mínimamente procesada.

Fuente de variación	% LE	
	Prob > F	
	5 °C	10 °C
Atmósfera	0.3760	0.7020
Empaque	0.9495	0.2036
Atmósfera*Empaque	0.8842	0.1026
Tiempo de almacenamiento	<0.0001**	<0.0001**
Atmósfera*Tiempo de almacenamiento	0.5131	0.6068
Empaque*Tiempo de almacenamiento	0.0062**	0.0438*
Atmósfera*Empaque*Tiempo de almacenamiento	0.0173*	0.1938

*=P ≤ 0.05; **P ≤ 0.01

Los tratamientos almacenados en ambas temperaturas mostraron significancia estadística del tiempo de almacenamiento y de la interacción empaque-tiempo de almacenamiento ($P < 0.05$), en esta se identificó que el incremento en el porcentaje de LE ocurre de manera importante durante el tiempo de almacenamiento y que este incremento pudiera estar influenciado por el tipo de empaque, sin embargo las diferencias importantes en este factor solo se identificaron durante el primer día de almacenamiento en ambas temperaturas (Figura 32). En este periodo los empaques, de permeabilidad alta al oxígeno, E3 ($5100 \text{ cm}^3/\text{m}^2\cdot\text{día}$) y E4 ($5000 \text{ cm}^3/\text{m}^2\cdot\text{día}$) presentaron los porcentajes más bajos de LE.

Posteriormente a los 4 días se observó un incremento pronunciado en la LE en todos los productos, lo anterior pudiera ser debido a la fuga de electrolitos inducida después del corte durante el procesamiento, no se observaron diferencias significativas ($P < 0.05$) por algún tipo de empaque.

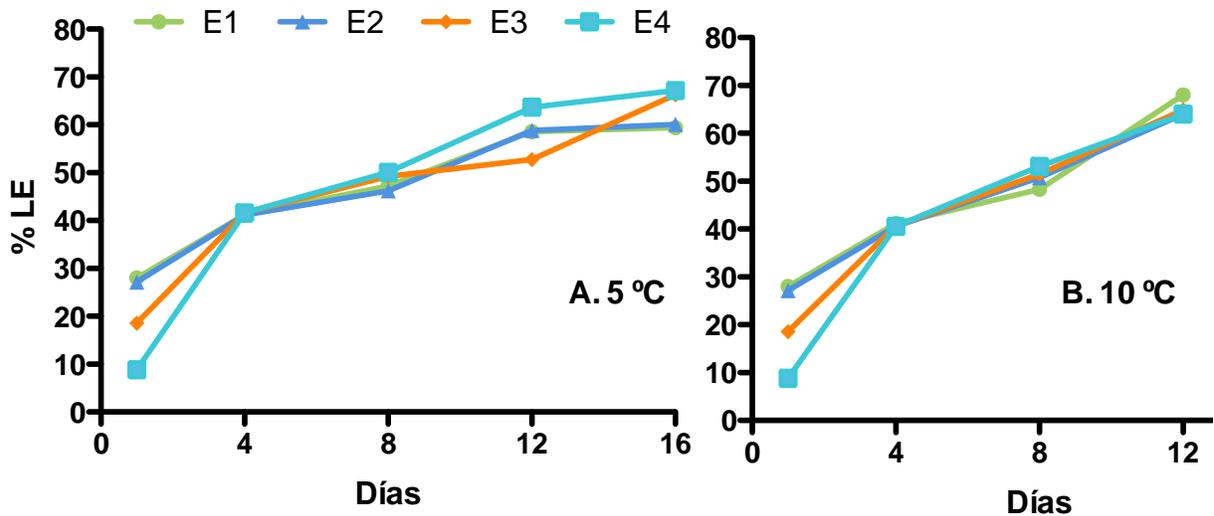


Figura 32. Interacción empaque-tiempo de almacenamiento en el porcentaje de liberación de electrolitos de jícama mínimamente procesada empacada en empaques con diferente tasa de transmisión al oxígeno almacenados 5 y 10 °C. E1= 381, E2= 3875, E3= 5100, E4= >5000 cm³/m²·día.

A los 8 días se observó un menor porcentaje de LE en los tratamientos E1 y E2 a 5 °C lo anterior pudiera estar relacionado con el menor desarrollo de BMA encontrado en ambos debido al mantenimiento en la integridad de la membrana que limitó la disponibilidad de nutrientes para el desarrollo de microorganismos. La LE continuo en incremento en los días posteriores en todos los tratamientos. A los 12 días los tratamientos E1 y E3 a 5°C mostraron el menor porcentaje de LE y al día 16 se observó una disminución en el porcentaje de LE en jícamas empacadas en E1 y E2, dicho decremento puede estar relacionado debido a la recuperación de las células dañadas (Gang-Kim *et al.*, 2005).

Gang-Kim *et al.* (2005) reportaron que el uso de atmósferas modificadas activas de O₂ ≥2.5 kPa disminuyó la LE para ambos empaques con permeabilidad de 8 pmol/s·m²·Pa (372 cm³/m²·día) y 16.6 pmol/s·m²·Pa (771 cm³/m²·día), estos autores sugieren que un contenido de O₂ ≥2.5 kPa puede ser requerido después del procesamiento mínimo para ayudar a la recuperación del tejido dañado debido al corte. Lo anterior puede estar relacionado con los resultados observados en las jícamas almacenadas a 5 °C, el primer día los tratamientos E3 y E4, con un bajo

porcentaje de LE, presentaron un mayor contenido de O₂, 17.6 y 16.9 % respectivamente; al día 8 se observa la misma tendencia para los empaques E1 y E2 con un contenido de 6.2 y 2.5 % de O₂ respectivamente y a los 12 días ocurrió de manera similar en E3 con un 3.5 % de O₂, mientras que a los 16 días no se observó esta relación en ninguno de los tratamientos.

La liberación de electrolitos puede estar asociada de manera directa con la pérdida de materia seca; lo cual confirma que estas respuestas están relacionadas con el daño celular y que son los factores probablemente más importantes que determinan la vida de anaquel de este producto.

7.2. Segunda etapa. Efecto del tratamiento de ácido salicílico (AS), y la aplicación de atmósferas modificadas en la conservación de jícama mínimamente procesada.

Los resultados en la primera etapa mostraron que el daño por frío y el daño mecánico podrían tener un papel importante en la conservación del producto y que una alternativa para disminuir la intensidad de las respuestas podría ser el utilizar compuestos que disminuyen el estrés como el ácido salicílico (Malamy y Klessig 1992; Luo et al., 2011), en combinación con el uso de la refrigeración y el uso de atmósferas modificadas. En esta etapa se utilizaron raíces de jícama procedentes de Nayarit, se procesaron en la planta piloto de la UAQ siguiendo el proceso de desinfección utilizado por la compañía aunque el corte de las tiras de jícama fue manual. El tratamiento con la solución de ácido salicílico se realizó conforme a lo descrito en la metodología, el empaque utilizado fue el convencional utilizado por la compañía, se empaco en atmósfera modificada, pasiva (R) y activa (M) con 5% de CO₂ balance aire. La temperatura de almacenamiento fue a 5 °C durante 12 días.

7.2.1. Cambios en el contenido de CO₂ y O₂ en los empaques.

Los valores de probabilidad de análisis estadístico general que señalan los efectos de los factores analizados se muestra en la Tabla 18. Así como los cambios registrados durante el periodo de almacenamiento se muestran en la Figura 33.

Para el contenido de CO₂ en el espacio de cabeza el factor atmósfera y el tiempo de almacenamiento tuvieron una influencia significativa. Se observó la condición de atmósfera modificada activa fue la que mayor contenido de CO₂ registró.

Tabla 18. Valores de probabilidad para el contenido de CO₂ y O₂ en JMP empacada en un solo empaque y en atmósferas modificadas almacenadas a 5 °C.

Fuente de variación	Contenido de gases	
	Prob > F	
	CO ₂	O ₂
Atmósfera	0.0084*	0.1812
Ácido Salicílico (AS)	0.7268	0.1215
Atmósfera*AS	0.0586	0.0025*
Tiempo almacenamiento	0.0025*	0.0053*
Atmósfera*Tiempo de almacenamiento	0.4165	0.7838
AS*Tiempo de almacenamiento	0.3195	0.1764
Atmósfera*AS*Tiempo de almacenamiento	0.1413	0.1018

*=P ≤ 0.05; **P ≤ 0.01

La Figura 33 muestra que la tasa de producción de CO₂ se mantuvo relativamente constante y baja durante el periodo de almacenamiento mostrando valores no mayores a 3.2 % durante los 12 días de almacenamiento.

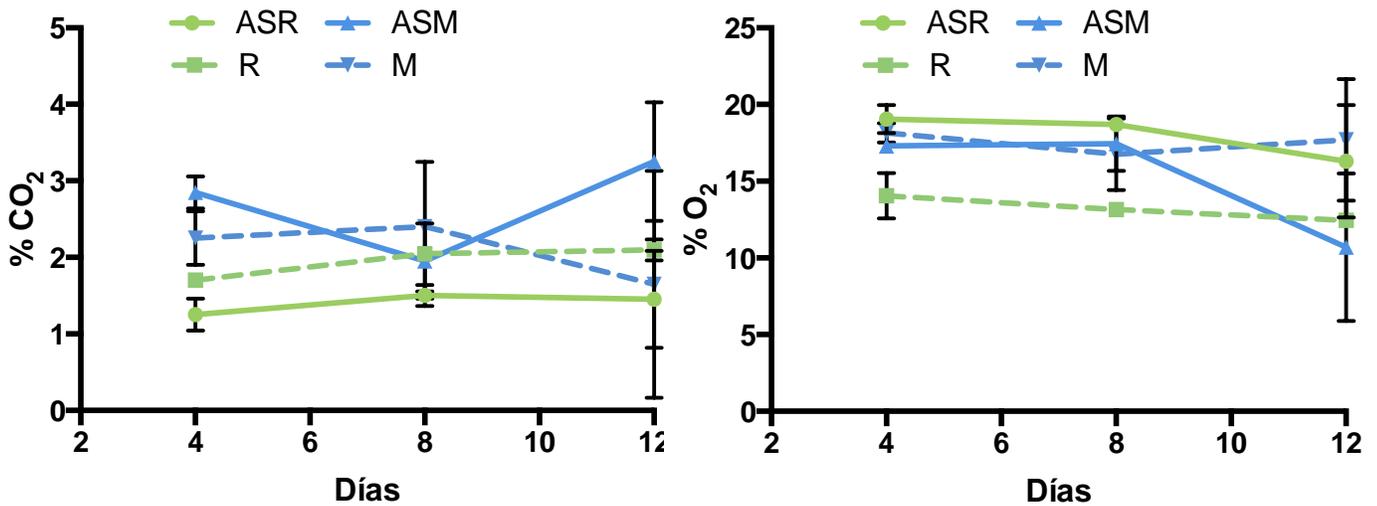


Figura 33. Cambios en el contenido de CO₂ y O₂ en el espacio de cabeza de empaques con jícama mínimamente procesada tratada con ácido salicílico, empacada en atmósferas modificadas y almacenada a 5 °C durante 12 días. Atmósfera modificada pasiva (R: aire) y activa (M: 5% CO₂ en aire).

Estos resultados contrastan de manera evidente con los resultados obtenidos en la primera etapa de este estudio donde se observaron altos contenidos de este gas dentro del mismo periodo de almacenamiento.

El contenido de CO₂ fue mayor en los tratamientos de atmósferas activas (M). Mientras que el tratamiento de atmósfera pasiva y con AS mantuvo la menor concentración durante los 12 días de almacenamiento; lo anterior concuerda con los reportado por Luo *et al.* (2011) quienes observaron una menor producción de CO₂ en ciruela tratada con ácido salicílico (AS). Otros investigadores han demostrado que las aplicaciones de AS reducen la tasa de respiración en frutas en una forma dependiente de la concentración (Srivastava y Dwivedi, 2000; Mo *et al.*, 2008).

El tratamiento sin AS con atmósfera activa (M) redujo la concentración de CO₂ a los 12 días en comparación con el tratamiento de atmósfera pasiva (R) el

cual se mantuvo relativamente estable. Lo anterior es consistente con los hallazgos reportados sobre la inhibición en la tasa de respiración por efecto del empacado en atmósferas modificadas debido a un equilibrio atmosférico alcanzado.

Para el contenido de O₂ el tiempo de almacenamiento y la interacción atmósfera-AS mostraron efectos significativos (Tabla 17); el primer día de almacenamiento se registraron los valores más altos (18.7%) y el día 12 los valores más bajos (14.3%). De igual forma, la concentración de O₂ se mantuvo constante y relativamente alta con un valor no menor a 10 % durante los días 12 de almacenamiento (Figura 33). Nuevamente, estos resultados contrastan con los resultados obtenidos en la primera etapa dónde se observó para todos los tratamientos el desarrollo de una atmósfera baja en oxígeno y en algunos casos anaeróbica a los 8 días de almacenamiento. A los 12 días se observó una disminución en la concentración de oxígeno en aquellos tratamientos con AS y de manera importante para el tratamiento ASM, esta disminución coincide con el incremento observado en la concentración de CO₂ a los 12 días de almacenamiento.

Los resultados contrastantes en los contenidos de estos gases, aún en los tratamientos donde no se aplicó el ácido salicílico llaman la atención y serán discutidos en conjunto con los resultados de las otras variables analizadas.

7.2.2. Evolución del desarrollo de BAL.

El análisis estadístico general indicó que solamente el factor tiempo de almacenamiento tuvo un efecto altamente significativo. Los cambios en el crecimiento de BAL se muestran en la Figura 34.

La carga inicial de BAL fue $< 1 \log$ (UFC g⁻¹), su desarrollo incremento con el tiempo de almacenamiento alcanzando el máximo crecimiento a los 8 días, el tratamiento ASM presentó el mayor desarrollo con una carga de $4.5 \log$ (UFC g⁻¹).

A los 12 días, los tratamientos con AS mostraron una reducción en el crecimiento mientras que los tratamientos sin AS se mantuvieron sin cambio respecto del día 8.

Se sabe que el AS y sus derivados desencadenan sistemas de defensa en la planta, el AS provoca el rápido incremento en la producción de H_2O_2 en plantas y activa la respuesta sistémica contra los patógenos (Cai y Zheng, 1999), lo anterior podría explicar el menor desarrollo de BAL observada en la jícama tratada con AS.

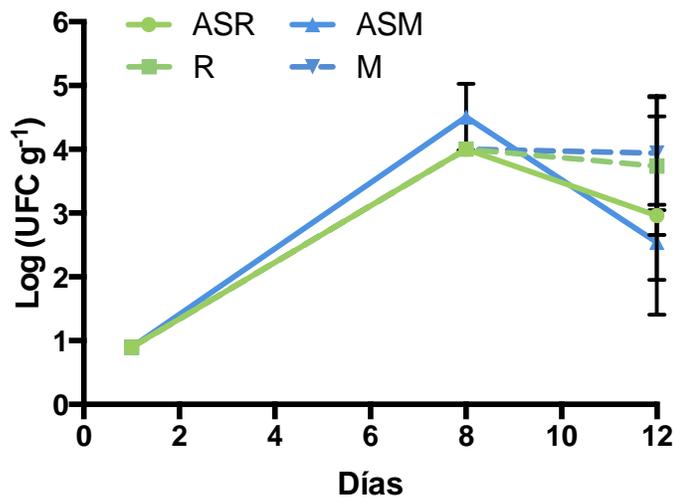


Figura 34. Cambios en las poblaciones de BAL en jícama mínimamente procesada tratada con ácido salicílico (AS), empacada en atmósferas modificadas y almacenada 5°C. Atmósfera pasiva (R: aire) y activa (M: 5% CO_2 en aire).

La carga de BAL encontrada al final del almacenamiento fue de 2-4 log (UFC g^{-1}), esto sugiere una buena calidad sanitaria en el producto y se asocia a un nivel de frescura intermedio (Fernandez-Escartín, 2008).

Estos resultados también contrastan con los encontrados en la primera etapa de este trabajo; el desarrollo de estos microorganismos fue menor incluso en los tratamientos en los que no se aplicó el AS.

7.2.3. Efecto de los tratamientos en la calidad sensorial de jícama mínimamente procesada.

El análisis estadístico general de los datos de las variables sensoriales mostró los valores de probabilidad registrados en la Tabla 19. Para todas las variables analizadas solamente el factor tiempo de almacenamiento tuvo una influencia significativa importante en cada una de las respuestas analizadas. Mientras que la aplicación de las atmósferas modificadas o del ácido salicílico no tuvieron efectos significativos generales en las variables calidad visual, oscurecimiento y crujencia pero si la tuvieron en desarrollo de malos olores o en consistencia viscosa.

Tabla 19. Valores de probabilidad del efecto de los factores en estudio sobre las variables sensoriales en jícama mínimamente procesada tratada con atmosferas modificadas, ácido salicílico y almacenadas 12 días a 5 °C.

Fuente de variación	Calidad visual	Oscurecimiento	Crujencia	Apariencia viscosa	Mal olor
Atmósferas	0.3528	0.5446	0.1751	0.6309	0.0004*
A Salicílico (AS)	0.3528	0.8395	0.7833	0.0065*	0.0540
Atm*AS	0.1670	0.3151	0.0002*	0.6309	0.0004*
T. alm.	<.0001*	<.0001*	<.0001*	<.0001*	<.0001*
Atm*Tiempo	0.0049*	0.2369	0.0248	0.8711	0.0004*
AS*Tiempo	0.0088	<.0001*	0.2889	0.0279	<.0001*
Atm*AS*Tiempo	0.3048	0.0269	<.0001*	0.8711	0.0004*

*=P ≤ 0.05; **P ≤ 0.01

7.2.3.1. Cambios en la calidad visual

De acuerdo con la Tabla 19, la calidad visual de la jícama fue disminuyendo con el tiempo de almacenamiento, la mejor calidad visual fue registrada el día primero (8) y después disminuyó ligeramente (7 a 7.2) durante los siguientes días de almacenamiento sin encontrarse diferencias significativas entre esos periodos de análisis. La Figura 35 muestran los cambios de esta variable para las distintas atmósferas y aplicaciones de ácido salicílico. A los 4 días los tratamientos con atmósferas modificadas activas (M) parecieron mostrar la mayor disminución en la calidad visual de la jícama en comparación con los otros tratamientos. En la Figura 36 se muestran fotografías de distintas muestras de producto durante el periodo de almacenamiento.

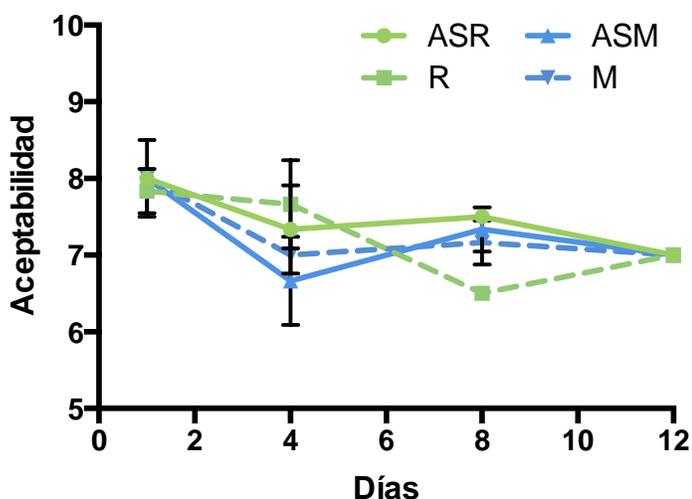


Figura 35. Calidad visual de la jícama mínimamente procesada tratada con ácido salicílico (AS), empacada en atmósferas modificadas y almacenada 5°C. En la escala de aceptabilidad de la calidad visual 9=excelente y 1=extremadamente pobre. Empacado en atmósfera modificada (EAM): en pasivo (R: aire) y activo (M: 5% CO₂ en aire).

El comportamiento de las muestras a los 8 días fue un tanto diferente. Las jícamas tratadas con AS almacenadas en atmósfera R y M, así como las muestras

sin AS y almacenadas en M presentaron una mejor calidad (valores entre 7.0 y 7.5) que las muestras no tratadas y almacenadas en atmósfera modificada pasiva (R) la cual mostró una disminución considerable (6.5) (Figura 35 y 36). A pesar de las diferencias encontradas, la calidad del producto fue la misma para todos los tratamientos a los 12 días de almacenamiento, cuando las muestras fueron calificadas con una buena apariencia (defectos menores, no objetables). Es importante señalar que el aspecto físico y la calidad de corte de los productos trabajados en esta etapa fueron mejores que los productos evaluados en la primera etapa debido a que estos últimos se hicieron manualmente evitando las fracturas creadas por el corte industrial de la máquina Urshell (Figura 36).

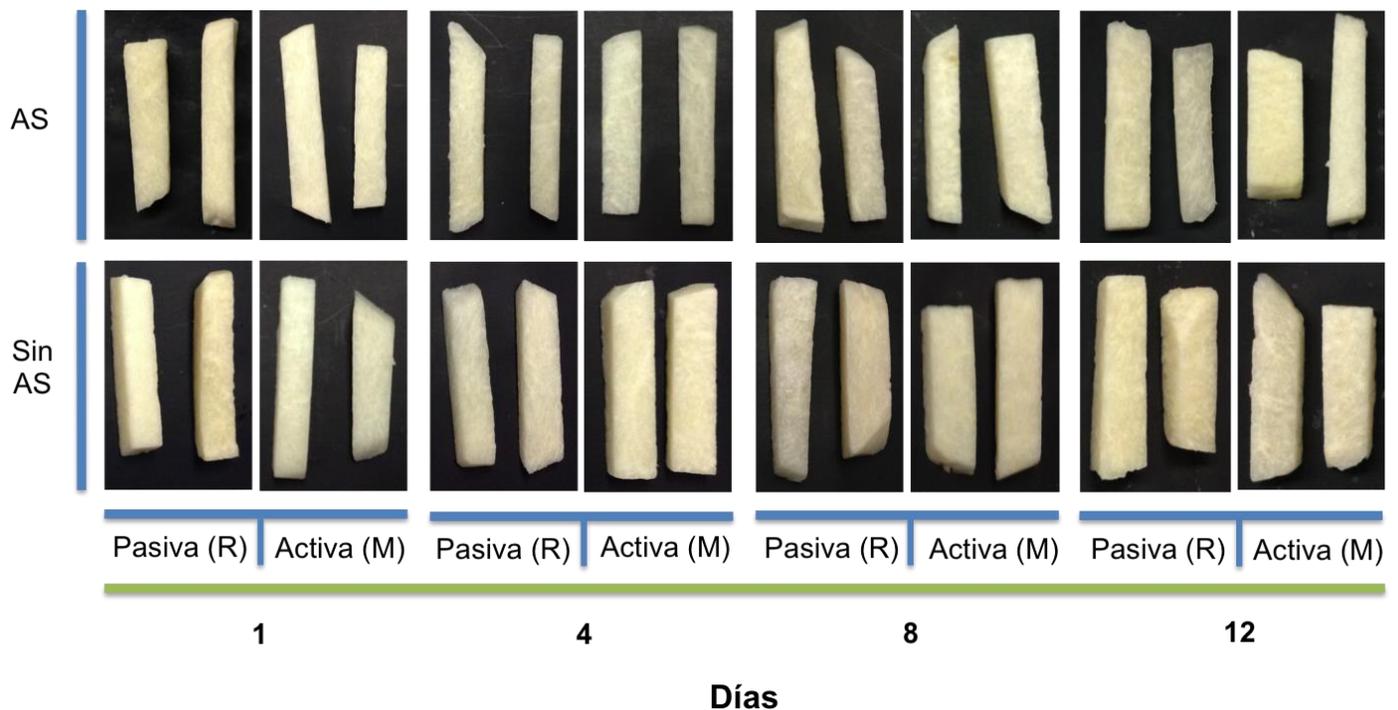


Figura 36. Calidad visual de jícama mínimamente procesada empacada en atmósferas modificadas en E1 (381 cm³/m²·día) almacenadas 12 días a 5 °C. EAM es empacado en atmósfera modificada en pasivo (R: aire) y en activo (M: 5% CO₂ en aire).

7.2.3.2 Cambios en el Oscurecimiento de las muestras

La Tabla 19 muestra también que en esta variable el tiempo de almacenamiento tuvo un efecto altamente significativo. Las muestras analizadas el primer día registraron valores bajos de oscurecimiento (1.6) mientras que las muestras evaluadas los días 4 y 8 mostraron los valores más altos (2.8 a 3). La Figura 37 muestra gráficamente estos cambios durante el almacenamiento a 5 °C. Aquino-Bolaños *et al.* (2000) han reportado que el oscurecimiento es uno de los factores que más contribuyen en la reducción de la calidad de jícama mínimamente procesada, sus resultados muestran que este efecto se redujo significativamente en el producto almacenado a 5 °C, reportando un mínimo desarrollo de oscurecimiento durante 12 días incluso para los tratamientos en atmósferas de aire, esta tendencia coincide con los resultados encontrados en este estudio.

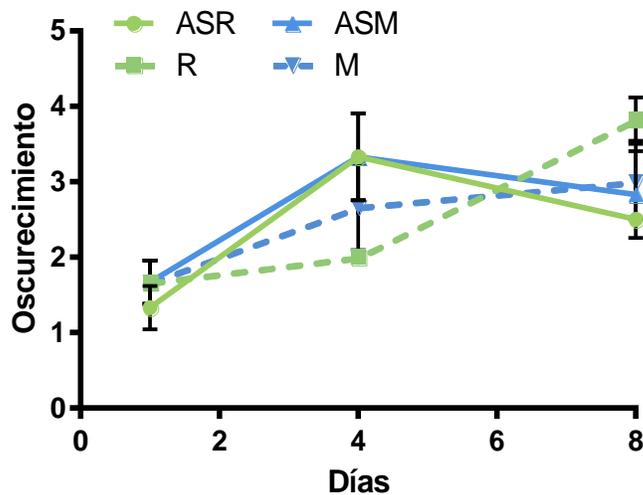


Figura 37. Desarrollo de oscurecimiento en la jícama mínimamente procesada tratada con ácido salicílico (AS), empacada en atmósferas modificadas y almacenada 5°C. En la escala de oscurecimiento 1=ninguno y 9=extremo. Atmósfera modificada pasiva (R: aire) y activa (M: 5% CO₂ en aire).

Para los tratamientos con AS y en el día 8, se observó una aparente reducción significativa ($P < 0.05$) en el desarrollo de oscurecimiento. Peng y Jiang (2006) reportaron un retraso en el desarrollo de oscurecimiento de castañas de agua mínimamente procesadas tratadas con AS durante su almacenamiento a 4 °C, lo anterior también está relacionado con lo encontrado en este estudio.

El comportamiento para los tratamientos sin AS fue diferente, se observó un continuo incremento de oscurecimiento hasta el día 8, de manera significativa ($P < 0.05$) para el tratamiento R calificado con un moderado desarrollo, en comparación con los otros, no obstante el grado de oscurecimiento fue similar en los entre demás tratamientos.

7.2.3.3 Cambios en la pérdida de crujencia de JMP

La crujencia de las muestras se evaluó a través del grado de marchitez, para este parámetro valores cercanos a 9 indican un producto sin crujencia. La Tabla 19 muestra que el tiempo de almacenamiento tuvo un efecto altamente significativo sobre la pérdida de crujencia de la JMP. Las muestras analizadas el primer día registraron los valores más bajos (1.5); es decir las muestras se encontraban crujientes sin flacidez; mientras que las muestras evaluadas el día 8 mostraron valores mayores (2.3) con un grado de flacidez. El tiempo de almacenamiento influyó significativamente en la determinación de marchitez del producto, en la Figura 38 se muestran los resultados de crujencia durante 8 días de almacenamiento para los distintos tratamientos.

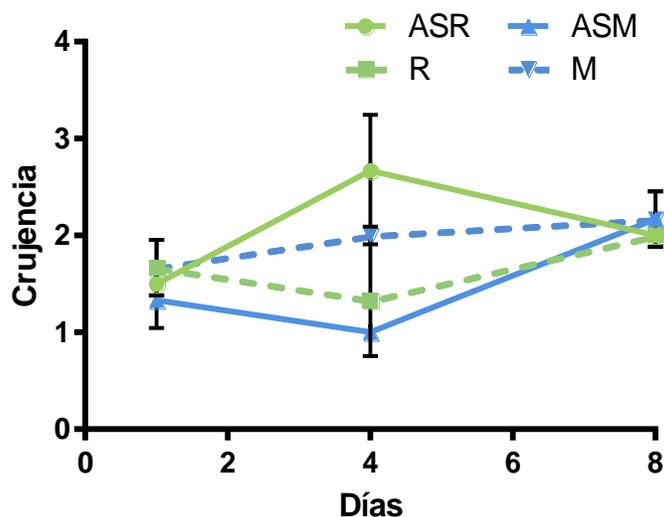


Figura 38. Pérdida de crujeancia de jícama mínimamente procesada tratada con ácido salicílico (AS), empacada en atmósferas modificadas y almacenada 5°C. En la escala de pérdida de crujeancia 1=ninguna, 5=moderada y 9=extrema. Atmósfera pasiva (R: aire) y activa (M: 5% CO₂ en aire).

Durante el primer día de almacenamiento todos los tratamientos mostraron en un mismo grado de pérdida de crujeancia. Al día 4 se evidenciaron diferencias significativas entre los tratamientos con AS, mientras que las muestras de ASR mostraron el mayor incremento y el producto fue calificado con una ligero pérdida de crujeancia (2.5), las muestras de ASM mantuvieron, o incluso presentaron mejores calificaciones con una apariencia similar a las muestras recién cortadas. Por el contrario se observó que los tratamientos sin AS tuvieron un comportamiento similar de pérdida de crujeancia, siendo mejor la atmósfera R. En los días posteriores no se identificaron diferencias significativas entre los tratamientos.

7.2.3.4. Desarrollo de viscosidad en el producto.

La Tabla 19 muestra que los factores que tuvieron influencia significativa en esta variable fueron el tiempo de almacenamiento y la aplicación de ácido salicílico. Las muestras del día 1 registraron los menores valores (1) mientras que

las muestras del día 4 y 8 mostraron los valores mayores (3.5 y 2.8 respectivamente) aunque estos valores fueron notablemente menores a los registrados en la primera etapa de este estudio. La Figura 39 muestra los resultados obtenidos con respecto al desarrollo de viscosidad en la superficie de la jícama mínimamente.

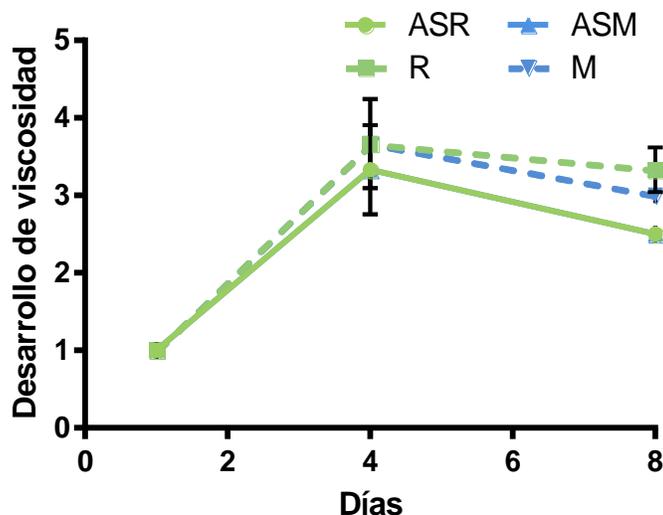


Figura 39. Desarrollo de viscosidad en la superficie de jícama mínimamente procesada tratada con ácido salicílico, empacada en atmósferas modificadas y almacenada a 5 °C. En la escala de desarrollo de viscosidad 1=ninguno, 5=moderado (comienza a ser rechazable) y 9=extremo. Atmósfera pasiva (R: aire) y activa (M: 5% CO₂ en aire).

Respecto del efecto del ácido salicílico, (Tabla 20) se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos con y sin AS ($P < 0.05$) como se muestra en la Tabla 19 que señala la comparación de medias de estos tratamientos, los tratados con AS mostraron el menor desarrollo de consistencia viscosa en la superficie del producto y fue calificado como ligero, esto se puede observar al día 8 de almacenamiento (Figura 39), lo anterior se puede asociar a un menor deterioro microbiano, debido a la correlación positiva entre el desarrollo de viscosidad y el incremento en la carga de BAL (Pearson, $P < 0.01$) encontrada en la primera etapa de este estudio.

Tabla 20. Desarrollo de viscosidad en la superficie de jícama mínimamente procesada tratada con ácido salicílico y almacenada a 5 °C durante 12 días. En la escala de aceptabilidad de desarrollo de viscosidad 1=ninguno y 9=extremo.

Tratamiento	Desarrollo de viscosidad ^a
AS	1.95b
Sin AS	2.20a

^aMedias seguidas por letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $P \leq 0.05$).

Este menor deterioro también se puede explicar por el mayor contenido de O₂ encontrado en ASR y ASM entre los 4 y 6 días de almacenamiento (Figura 33), donde se asume que el desarrollo de BAL se ve favorecido si esta asociado al decremento del contenido de O₂ en los empaques.

7.2.3.5. Desarrollo de malos olores.

También la Tabla 19 muestra la significancia estadística del efecto de los factores analizados en el desarrollo de olores extraños. Aunque se observaron varios efectos significativos de diferentes factores, el factor tiempo fue el más importante; en el tiempo inicial y final del almacenamiento se registraron los menores valores mientras que en el día 4 y 8 se registraron los mayores valores. Los valores sobre el desarrollo de malos olores para la jícama mínimamente procesada se muestran en la Figura 40. De acuerdo a lo obtenido parece haber una relación con la variable de desarrollo de viscosidad.

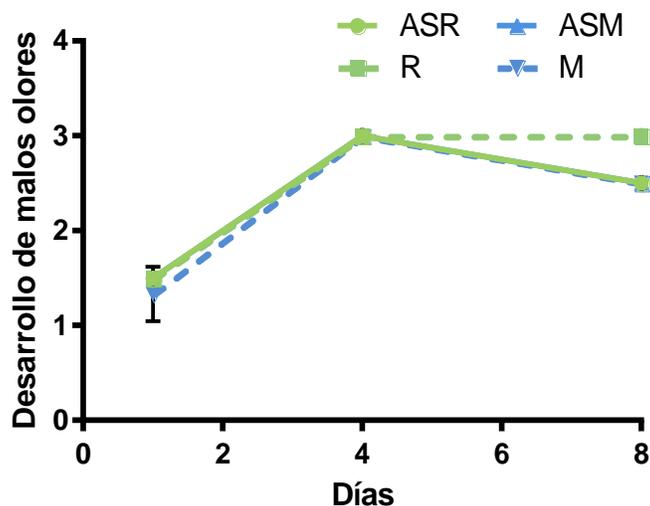


Figura 40. Desarrollo de malos olores en la jícama mínimamente procesada tratada con ácido salicílico, empacada en atmósferas modificadas y almacenada a 5 °C. En la escala de desarrollo de malos olores 1=ninguno, 5 =moderado (comienza a ser rechazable) y 9=extremo. Atmósfera pasiva (R: aire) y activa (M: 5% CO₂ en aire).

De manera importante se pueden señalar los resultados obtenidos al día 8, donde se observa que la aceptabilidad, con significancia estadística ($P < 0.05$), para ambos tratamientos con AS coinciden con los valores encontrados en viscosidad, se suma en aceptabilidad el resultado del tratamiento M que a su vez ha tenido un menor desarrollo de viscosidad con respecto a R el cual fue calificado con un ligero desarrollo de mal olor.

7.2.4 Cambios en las características físico químicas del producto.

El análisis estadístico de todos los datos registrados mostró los valores de probabilidad registrados en la Tabla 21. De forma general ninguno de los factores estudiados tuvo un efecto significativo en las variables estudiadas. Solamente en la liberación de electrolitos se observó un efecto significativo del tiempo de almacenamiento, observándose que a los 12 días de almacenamiento se registraron los valores más altos (23.6%) y no se observaron diferencias entre el día 1 y 8 donde los valores fueron iguales estadísticamente (21 a 21.6 %). Lo cual

contrasta fuertemente con los resultados determinados en la primera etapa donde los valores registrados alcanzaron hasta 60 %.

Tabla 21. Valores de probabilidad del efecto de los factores en estudio sobre las variables objetivas de calidad en jícama mínimamente procesada tratada con atmosferas modificadas, ácido salicílico y almacenadas doce días a 5 °C.

Fuente de variación	Firmeza	Hue	SST	LE
Atmósfera	0.2253	0.5003	0.0834	0.6726
A Salicílico (AS)	0.1470	0.2763	0.7685	0.6497
Atm*AS	0.3645	0.6870	0.3331	0.9213
T. almacenamiento	0.2745	0.5929	0.7531	0.0002*
Atm*Tiempo	0.1415	0.5045	0.7622	0.8886
AS*Tiempo	0.7651	0.3536	0.1269	0.1219
Atm*AS*Tiempo	0.5938	0.7459	0.9188	0.1091

*=P ≤ 0.05; **P ≤ 0.01

7.2.4.1. Cambios en la Firmeza objetiva.

Como ya se ha explicado no se observaron cambios significativos de los factores estudiados. La Figura 41 muestra la evolución de la firmeza objetiva durante el almacenamiento.

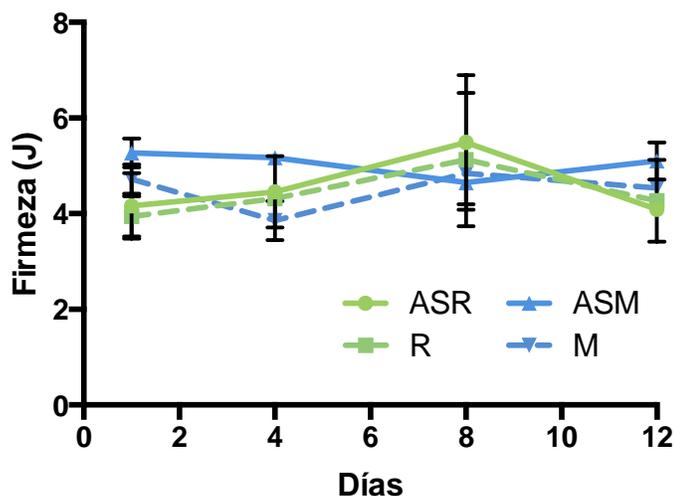


Figura 41. Cambios en la firmeza (J) objetiva en jícama mínimamente procesada tratada con ácido salicílico, empacada en atmósferas modificadas y almacenada a 5 °C durante 12 días. Atmósfera pasiva (R) y activa (M).

Se observó que la firmeza, en términos de trabajo, se mantuvo en un rango de 4 a 5.3 J durante los 12 días de almacenamiento.

Se ha reportado para varios cultivos una retención de la firmeza de frutos como resultado de un tratamiento de AS. En el caso de frutos, se ha demostrado que el AS disminuye la producción de etileno e inhibe las enzimas que degradan la pared celular y la membrana tales como la poligalacturonasa (PG), lipoxigenasa (LOX), celulasa y pectinmetilesterasa (PME), provocando una disminución en la tasa de ablandamiento (Srivastava y Dwivedi, 2000; Zhang *et al.*, 2003). No obstante, estos efectos no fueron observados en este estudio, pareciendo indicar que el no observar este efecto en este producto se pudo haber debido a que la jícama no muestra cambios en la producción de etileno y por ello sin efecto en la actividad de las enzimas asociadas a la hidrólisis de pared celular.

7.2.4.2. Cambios en el color de las muestras.

Al igual que la variable textura, el valor Hue no fue afectado por ninguno de los factores estudiados (Tabla 21). La Figura 42 muestra la evolución de esta variable durante el almacenamiento. En términos generales no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos de inmersión en AS y EAM en activo y en pasivo durante el tiempo de almacenamiento ($P < 0.05$).

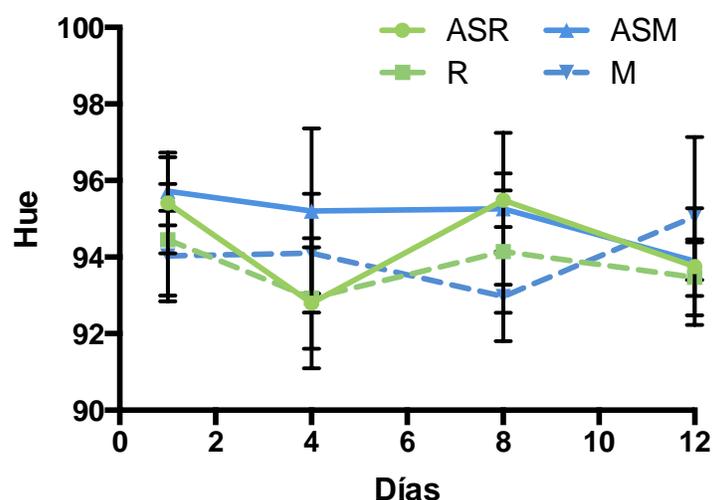


Figura 42. Cambios en el valor Hue en jícama mínimamente procesada tratada con ácido salicílico, empacada en atmósferas modificadas y almacenada a 5 °C. Atmósfera pasiva (R: aire) y activa (M: 5% CO₂ en aire).

El Valor de Hue encontrado en la jícama mínimamente procesada, entre 93 a 95, indica la región amarilla en el eje del color, entre más bajo este valor más tonalidades amarillas tendrá la muestra indicando un deterioro en el color (Spokwski, 2010), aun cuando las diferencias no fueron significativas, los resultados obtenidos indican que los tratamientos con AS, (ASM y ASR) tuvieron valores de Hue ligeramente mayores con respecto a aquellos tratamientos sin AS (M y R) indicando un ligero deterioro en el color en estos últimos (Figura 36).

7.2.4.3. Cambios en el contenido de sólidos solubles totales (SST).

Al igual que las variables anteriores, los SST no fueron afectados por los factores estudiados (Tabla 21). La Figura 43 muestra la evolución de este factor durante el almacenamiento a 5 °C. En términos generales no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos de inmersión en AS y EAM en activo y en pasivo durante el tiempo de almacenamiento ($P < 0.05$).

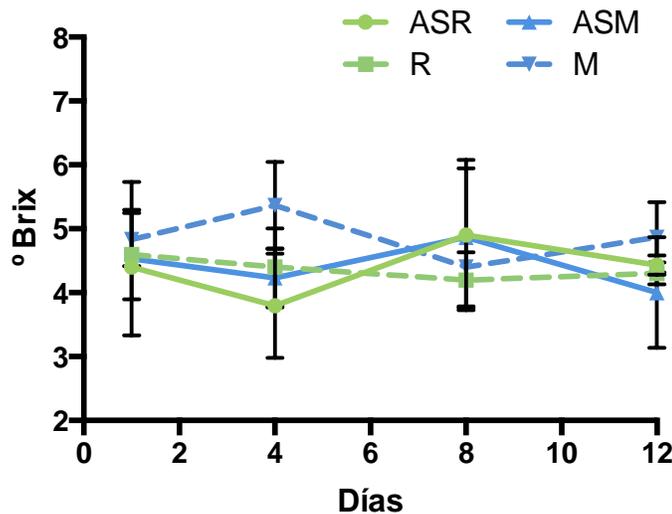


Figura 43. Cambios en el contenido de sólidos solubles totales en jícama mínimamente procesada tratada con ácido salicílico, empacada en atmósferas modificadas y almacenada a 5 °C. Atmósfera pasiva (R: aire) y activa (M: 5% CO₂ en aire).

El contenido de SST para el tipo de jícama utilizada en este experimento, cultivada en Nayarit, se mantuvo con un promedio de 4.5, y relativamente constante durante el tiempo de almacenamiento para todos los tratamientos en comparación con jícama utilizada en el experimento anterior (cultivada en Morelos). De manera similar, Aquino-Bolaños et al. (2000) reportaron un contenido promedio de 4.7 de SST en la raíz entera para la jícama de Nayarit. En cuanto al comportamiento encontrado en la jícama de Nayarit, donde el contenido de SST permaneció relativamente constante, pudiera deberse a la baja actividad

metabólica encontrada que ha retardado en mayor medida la degradación de almidón en azúcares, en contraste con la cultivada en Morelos (Figura 29).

7.2.4.4. Cambios en la liberación de electrolitos (LE).

Como ya se había mencionado la liberación de electrolitos (LE) es una medida indirecta de daño por frío (Jiang et al 2001; Hong et al. 2000). En términos generales solo se observaron diferencias significativas durante el tiempo de almacenamiento (Tabla 21) observándose los valores mayores a los 12 días de almacenamiento (de 22 a 26%) sin apreciarse ningún efecto de los demás factores estudiados (Figura 44).

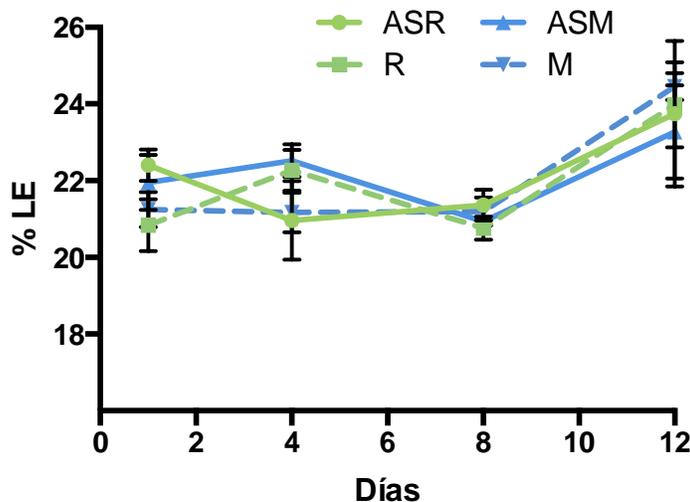


Figura 44. Cambios en la liberación de electrolitos de jícama mínimamente procesada tratada con ácido salicílico (AS), empacada en atmósferas modificadas y almacenada a 5 °C. Aatmósfera pasiva (R: aire) y activa (M: 5% CO₂ en aire).

Se ha reportado que el tratamiento con AS puede ayudar a retardar el incremento en el porcentaje de LE, esto se ha visto en frutos enteros como ciruelas y granadas (Luo et al. 2011; Sayyari et al., 2009), en contraste con

nuestros resultados, este comportamiento solo se observó parcialmente sin obtener diferencias estadísticas.

Es importante señalar que el porcentaje de LE para la jícama de Nayarit utilizada en este experimento fue menor durante el tiempo de almacenamiento, en comparación con los valores registrados para la jícama de Morelos utilizada en la Etapa 1 (Figura 32). Lo anterior parece indicar que la jícama cultivada en Nayarit es menos susceptible al daño por frío.

7.2.5. Efecto de los tratamiento sobre la actividad enzimática y la producción de fenoles totales en jícama mínimamente procesada.

El análisis estadístico general de los datos de las distintas variables bioquímicas y del contenido de fenoles mostró los valores de probabilidad señalados en la Tabla 22.

Tabla 22. Valores de probabilidad del efecto de los factores en estudio sobre las variables objetivas de calidad en jícama mínimamente procesada tratada con atmosferas modificadas, ácido salicílico y almacenadas 12 días a 5 °C.

Fuente de variación	PAL	PPO	POD	FT
Atmósferas	0.2170	0.4937	0.9706	0.0046**
A Salicílico (AS)	0.6924	0.5588	0.2401	<0.0001**
Atm*AS	0.7309	0.6151	0.0105*	0.1596
T. almacenamiento	0.1165	0.0015**	<.0001**	<.0001**
Atm*Tiempo	0.8886	0.6663	0.0643	0.5248
AS*Tiempo	0.5061	0.8158	0.1184	0.0355
Atm*AS*Tiempo	0.5640	0.4138	0.0612	0.1498

*=P ≤ 0.05; **P ≤ 0.01

La actividad de la Fenilalanina amonio liasa (PAL) no fue afectada por ninguno de los factores estudiados; mientras que las actividades de la polifenol oxidasa (PPO) y la peroxidasa (POD) fueron afectadas por el tiempo de almacenamiento pero no por las atmosferas ni por la aplicación de ácido salicílico ni sus interacciones. Por su parte el contenido de fenoles totales (FT) fue afectado por el tiempo de almacenamiento y por la aplicación de AS.

7.2.5.1. Cambios en la actividad de la enzima fenilalanina amonio liasa (PAL).

La actividad de esta enzima no mostró ser afectada por los factores estudiados (Tabla 22) ya que existió una alta variabilidad de datos especialmente en aquellas muestras tratadas con AS (Figura 45) lo cual llevo a no observar diferencias entre los tratamientos.

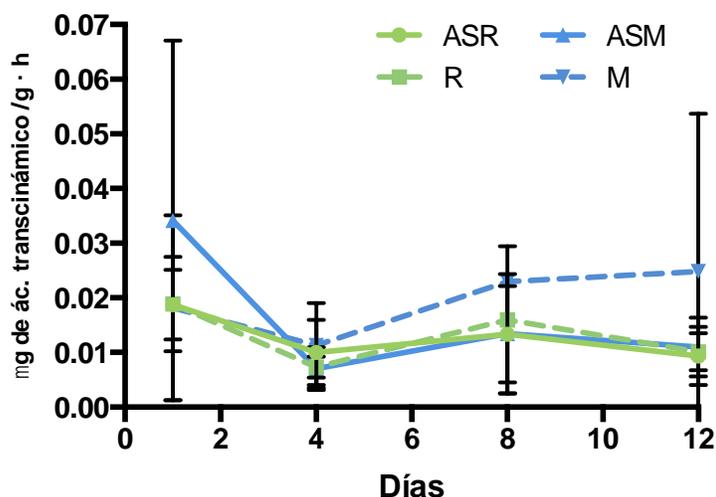


Figura 45. Cambios en la actividad de la fenilalanina amonio liasa (A) en jícama mínimamente procesada tratada con ácido salicílico (AS), empacada en atmósferas modificadas y almacenada a 5 °C. Atmósfera pasiva (R: aire) y activa (M: 5% CO₂ en aire).

Los niveles en la actividad enzimática de PAL en jícama mínimamente procesada se mantuvieron bajos con una tendencia de disminución e incremento

sucesivo durante los 12 días de almacenamiento a 5 °C. Aquino-Bolaños (1998) reportó un nivel de actividad similar en jícama mínimamente procesada almacenada a 5 °C durante 9 días, lo cual coincide con lo encontrado en nuestro experimento.

Los niveles en la actividad enzimática de PAL en jícama mínimamente procesada se mantuvieron bajos con una tendencia de disminución e incremento sucesivo durante los 12 días de almacenamiento a 5 °C. Aquino-Bolaños (1998) reportó un nivel de actividad similar en jícama mínimamente procesada almacenada a 5 °C durante 9 días, lo cual coincide con lo encontrado en nuestro experimento.

Quin *et al.* (2003) reportaron que el tratamiento con AS indujo la actividad de PAL en cerezas, en nuestro experimento, lo anterior no se observó significativamente en los tratamientos con AS.

La reducción en la tasa de oscurecimiento puede ser explicada por los cambios en la síntesis de compuestos fenólicos, que involucra a la PAL, y/o degradación debido a bajas temperaturas o una concentración reducida de O₂. El almacenamiento de la jícama mínimamente procesada 5 °C podría explicar el bajo nivel de actividad de la enzima. Mateos *et al.* (1993) indicaron que concentraciones de CO₂ < 20 % redujeron la actividad de la enzima debido a la disminución del pH citoplasmático, lo anterior se puede relacionar con el bajo nivel de actividad de la enzima encontrada en nuestro experimento por efecto del empacado en atmósferas modificadas donde las concentraciones de gases fue de 1-3% y 14-19% de CO₂ y O₂ respetivamente durante el almacenamiento.

7.2.5.2. Cambios en la actividad enzimática de la polifenol oxidasa (PPO) y peroxidasa (POD).

Actividad de la PPO

La actividad de esta enzima fue principalmente modificada por el tiempo de almacenamiento (Tabla 22) y no viéndose afectada por los otros factores

estudiados. Los menores valores de actividad menores se registraron el primer día de almacenamiento (0.096 U) mientras que los valores más altos se registraron a los 8 y 12 días de almacenamiento (0.17 y 0.19 U) (Figura 46A).

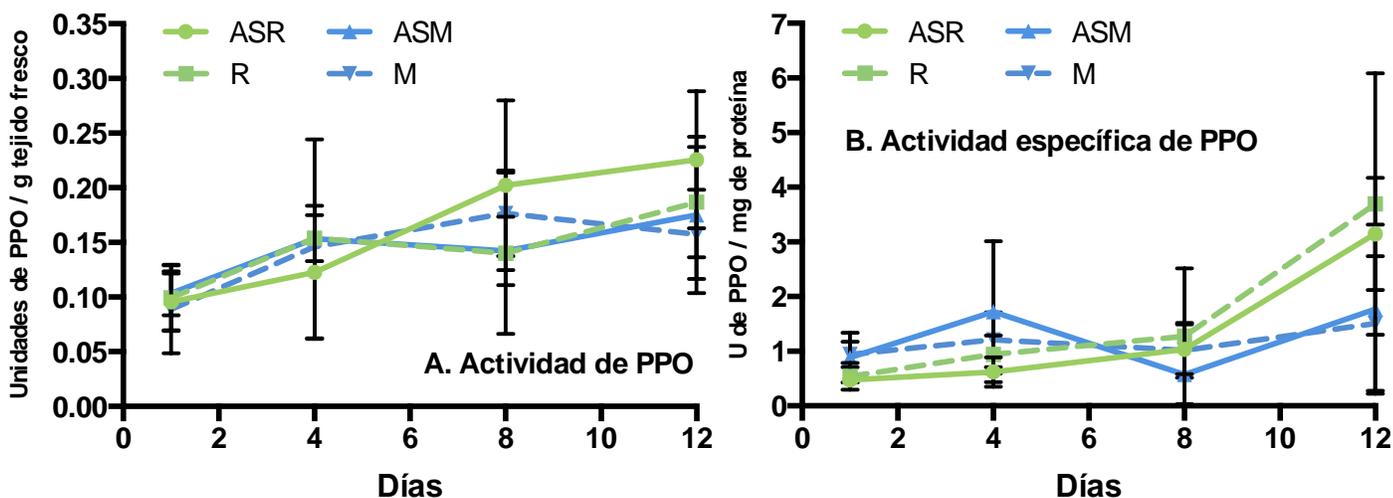


Figura 46. Cambios en la actividad de la polifenol oxidasa (PPO) total (A) y específica (B) en jícama mínimamente procesada tratada con ácido salicílico (AS), empacada en atmósferas modificadas y almacenada a 5 °C. Atmósfera pasiva (R: aire) y activa (M: 5% CO₂ en aire).

La Figura 46 A muestra los cambios en la actividad total de esta enzima observándose una tendencia de mayor actividad en ambas muestras tratadas con atmósfera pasivas (R).

De manera específica, la actividad de la PPO incrementó significativamente a los 4 días de almacenamiento, posterior a ello se observó una actividad relativamente constante en los tratamientos R, ASM y M hasta los 12 días a diferencia de ASR donde se observó un incremento mostrando la mayor actividad hasta el término del almacenamiento (Figura 46A). El incremento en la actividad de PPO puede estar relacionado a la síntesis de *novo* de la enzima o a la activación de una forma previamente inactiva incrementando o manteniendo el contenido de proteína en el extracto (Aquino-Bolaños 2002). Por ello es importante

identificar si existen cambios en la actividad específica de esta enzima, la Figura 46 B muestra los cambios en la actividad específica de la misma enzima.

Se sabe que la actividad de la PPO tiene un papel importante en la oxidación de compuestos fenólicos para dar lugar a quinonas que simultáneamente se pueden polimerizar generando pigmentos oscuros en los tejidos (Hanson y Havir, 1979; Taiz y Zeiger, 2010). El incremento observado en la actividad de la PPO también puede estar relacionado con el incremento en el contenido de compuestos fenólicos como se describe posteriormente. Dicho comportamiento se ha observado en ciruelas, castañas, cerezas y peras enteras (Luo *et al.* 2011; Peng y Jang, 2006; Qin *et al.*, 2003; Buta y Abbott, 2000) y en manzanas mínimamente procesadas (Buta *et al.*, 1999)

Por otro lado se ha reportado que el AS puede estimular la síntesis de las enzimas antioxidantes e inducir la actividad de PPO, PAL, entre otras enzimas, esto se ha visto en cerezas (Qin *et al.*, 2003). Lo anterior puede estar relacionado con el incremento en la actividad de la PPO observado en el tratamiento con AS en atmósfera modificada pasiva (R) (Figura 46 A).

Con respecto al tratamiento de atmósferas modificadas, se sabe que atmósferas altas en CO₂ pueden ayudar a evitar el oscurecimiento en los tejidos vegetales. Murr y Morris (1974) indicaron que el CO₂ inhibió de manera competitiva la actividad de la PPO en champiñones y Galvis-Sánchez *et al.* (2000) también reportaron una reducción en la actividad de PPO en peras almacenadas 18 °C, sin embargo, en nuestros resultados se observó un efecto similar entre los tratamientos con atmósfera pasiva (R) y activa (M) sobre la actividad de dicha enzima.

Actividad de la POD

La Tabla 22 indica que la actividad de esta enzima se vio modificada significativamente por el tiempo de almacenamiento; observándose mayor actividad al inicio del almacenamiento y 4 días (20 a 42 U) y menores después de

8 y doce días (15 y 18 U). Las Figuras 47 A y 47 B muestran los cambios en la actividad total y específica de esta enzima, ambas muestran una disminución significativa ($P < 0.05$) en la actividad enzimática durante el tiempo de almacenamientos para todos los tratamientos.

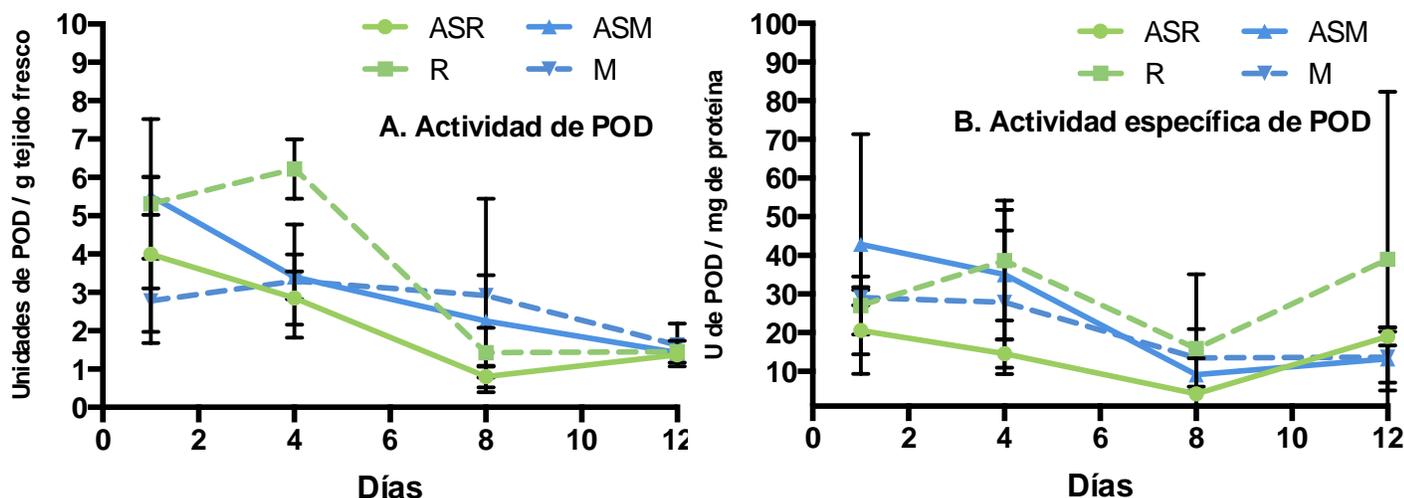


Figura 47. Cambios en la actividad de la peroxidasa (POD) total (A) y específica (B) en jícama mínimamente procesada tratada con ácido salicílico (AS), empacada en atmósferas modificadas y almacenada a 5 °C. Atmósfera pasiva (R: aire) y activa (M: 5% CO₂ en aire).

La disminución en la actividad de POD puede ser debido a una disminución en la síntesis de *novo* de la enzima indicando un menor contenido de proteína en el extracto enzimático. Los resultados en la actividad de POD coincidieron con la disminución de la actividad específica (Figura 47B).

En los tratamientos sin AS, la atmósfera activa (M) redujo la actividad de la enzima en mayor medida (Tabla 23), principalmente durante los primeros 4 días mientras que la actividad en las muestras empacadas en atmósfera pasiva (R) se redujo hasta los 8 días de almacenamiento (Figura 47A). Los resultados indican

que el tratamiento con ASR disminuyó de manera importante la actividad de la enzima.

Tabla 23. Actividad total de la peroxidasa en jícama mínimamente procesada tratada con ácido salicílico, empacada en atmósferas modificadas y almacenada a 5 °C.

Tratamiento ^a	Peroxidasa ^b (UAE POD/g tejido fresco)
ASR	2.25b
R	3.60a
ASM	3.17ab
M	2.65ab

^aAS representa a los tratamientos de ácido salicílico; EAM es en pasivo (R: aire) y activo (M: 5% CO₂ en aire)

^bMedias seguidas por letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, P ≤ 0.05)

Lo encontrado en nuestro experimento concuerda con lo reportado por de Peng y Jiang (2006), quienes reportaron una notable disminución en la actividad de la POD dentro de 3 días en castañas de agua tratadas con AS y almacenadas a bajas temperaturas.

Los efectos del tratamiento con AS están asociados a las respuestas de defensa inducidas por este compuesto, el cual está probablemente involucrado en la expresión de una variedad de genes de defensa, especialmente los que codifican PR-proteínas, entre ellas la peroxidasa (POD) (Meena *et al.*, 2001), el incremento y la inducción de POD extracelulares mediado por el AS, contribuirá a la resistencia contra un ataque o enfermedad en la planta a través de la lignificación y engrosamiento de la pared celular (Dempsey, Shah, & Klessig, 1999), no obstante en nuestros resultados obtenidos se observó un tendencia de disminución en la actividad de la enzima durante los primeros 8 días por lo que el argumento anterior no coincide con lo encontrado en nuestro experimento; por otra parte, la disminución de la actividad de la enzima observada durante este mismo periodo y en todos los tratamientos pudiera estar provocada por la baja

temperatura de almacenamiento, ya que la temperatura óptima de actividad de esta enzima se encuentra entre los 25 y 30 °C (Doğan and Doğan, 2004).

De acuerdo a lo anterior, Zeng *et al.* (2006) encontraron que los niveles de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y la tasa de generación del radical superóxido ($O_2^{\cdot-}$) en frutas tratadas con AS era mayor que en los grupos control después de los 8 días del tratamiento; también se ha establecido que el H_2O_2 puede actuar como señalizador provocando por sí mismo la acumulación de AS en el tejido y de esta manera promoviendo el ciclo de respuestas de defensa inducidas por este compuesto (Wu *et al.* 1997).

Por otro lado, se sabe que uno de los principales efectos benéficos del uso de atmósferas modificadas es la reducción del metabolismo respiratorio de frutas y hortalizas por efecto de un nivel reducido de O_2 y/o elevado CO_2 . Una reducción en el contenido de O_2 tiene por efecto una disminución en la actividad de enzimas con afinidad al oxígeno como lo es la POD. Un porcentaje elevado de CO_2 , entre 5-20 %, puede provocar cambios reduciendo o inhibiendo la actividad de enzimas del metabolismo respiratorio (Kader, 1986) teniendo por efecto una disminución en la actividad de diversas rutas metabólicas, el caso particular de productos mínimamente procesados la ruta de los fenilpropanoides, que ha sido estimulada en respuesta a la demanda de productos necesarios para el proceso de cicatrización dónde se involucra la POD (Buchanan *et al.*, 2001), puede verse disminuida. Lo anterior podría explicar la disminución observada en nuestro experimento en la actividad de la enzima POD, como consecuencia del EAM establecido, aún cuando se tratara atmósferas pasivas o activas.

7.2.5.3. Cambios en el contenido de fenoles totales.

El análisis estadístico general (Tabla 22) muestra que los FT fueron influidos por el tipo de atmósfera, la aplicación de AS y por el tiempo de almacenamiento. Los cambios en el contenido de estos compuestos se muestran en la Figura 48 donde se observa un incremento significativo durante el

almacenamiento, este aumento puede estar asociado a la activación del metabolismo de fenilpropanoides en respuesta al estrés por frío como se ha reportado en las ciruelas, papayas y jícama (Díaz–Mula *et al.*, 2009; Galli *et al.*, 2009; Cantwell, *et al.*, 2002), este incremento también se asocia al proceso de cicatrización del tejido (Sukumaran *et al.* 1990).

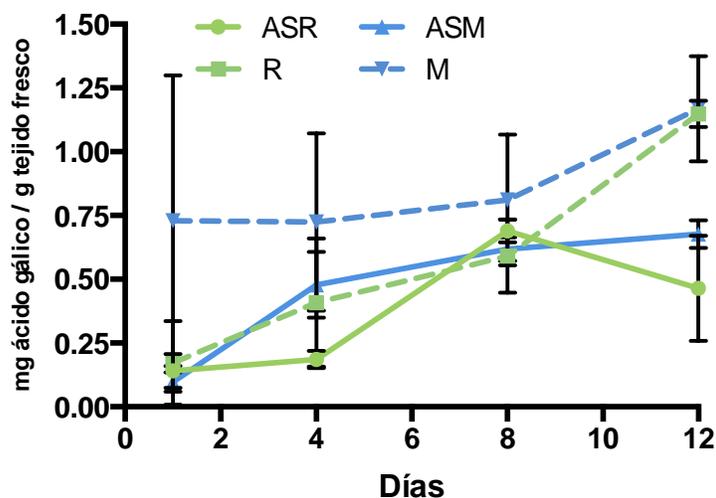


Figura 48. Cambios en el contenido de fenoles totales en jícama mínimamente procesada tratada con ácido salicílico (AS), empacada en atmósferas modificadas y almacenada a 5 °C. Atmósfera pasiva (R: aire) y activa (M: 5% CO₂ en aire).

De manera general se observó que los tratamientos con AS disminuyeron significativamente la producción de fenoles, mientras que los tratamientos con atmósferas modificadas activas (M) indujeron una mayor producción de FT en la jícama mínimamente procesada como se observa en la Tabla 24 y en la Figura 48; el tratamiento ASR mostró los niveles más bajos, lo puede estar relacionado al incremento en la actividad de PPO y POD en dicho tratamiento acelerando la oxidación de los fenoles.

De manera específica se puede observar la mayor concentración en el tratamiento M durante los 12 días de almacenamiento (Figura 48) lo anterior se

puede asociar tanto al nivel de actividad observado en la PAL, a la reducción en la actividad de la PPO y la continua disminución en la actividad de POD. No obstante los tratamientos ASM y R muestran comportamientos muy similares durante los primeros 8 días de almacenamiento.

Tabla 24. Concentración de fenoles totales en jícama mínimamente procesada tratada con ácido salicílico y empacada en atmósferas modificadas almacenada a 5 °C.

Tratamiento ^a		Fenoles totales ^b (mg ác. gálico/g tejido fresco)
AS	con	0.4175b
	sin	0.7186a
EAM	pasiva (R)	0.4733b
	activa (M)	0.6627a

^aAS representa a los tratamientos de ácido salicílico; empacado en atmósferas modificadas (EAM) es en pasivo (R: aire) y activo (M: 5% CO₂ en aire).

^bMedias seguidas por letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (Tukey, P ≤ 0.05).

Singh y Singh (2013) reportaron la reducción en el contenido de fenoles totales en ciruelas empacadas en atmósferas modificadas en comparación con el control. Amanatidou *et al.* (2000) reportaron también una reducción en el contenido de compuestos fenólicos en tratamientos con atmósferas controladas altas en CO₂ (1% O₂, 10% CO₂, 89% N₂) en comparación con el grupo control.

8. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el presente estudio permitieron establecer las siguientes conclusiones:

El proceso industrial utilizado para la producción de jícama mínimamente procesada no logra mantener la vida de anaquel por más de 12 días a 5 °C o por 8 días a 10 °C. Siendo los problemas que limitan la vida de anaquel el inflado de las bolsas por acumulación de gases, el desarrollo microbiano, cambios de color y de viscosidad en el producto durante su almacenamiento.

De forma general, la propuesta de utilizar empaques con mayor permeabilidad al oxígeno, así como el uso de atmósferas modificadas ricas en CO₂ para evitar los factores de deterioro no tuvieron el efecto esperado y no se logró incrementar la vida de anaquel del producto.

Aunque los estudios realizados en el laboratorio han mostrado efectos positivos del uso de esas técnicas para este producto; los productos generados de forma industrial mostraron un mayor daño mecánico durante el proceso de corte, que lleva a una mayor acumulación de CO₂ y un rápido consumo de O₂ lo cual lleva rápidamente a los productos a condiciones de déficit de oxígeno.

Lo anterior provocó un estrés anaeróbico del producto que se asocia al mayor desarrollo de microorganismos.

El almacenamiento a 5 y 10 °C son condiciones de daño por frío de jícama, lo cual seguramente también facilitó los cambios de consistencia y de color del producto.

Todos estos cambios no permitieron recomendar el mejor empaque a utilizar puesto que la actividad metabólica del producto rebasó los límites de control de los factores en estudio.

En función de lo anterior se propuso utilizar un procedimiento que aliviara los daños por frío, como el AS, en combinación con el uso de atmósferas activas ricas en CO₂ para mejorar las condiciones de conservación del producto. Esta etapa no se llevó a cabo bajo condiciones de producción industrial pero si bajo condiciones de planta piloto, lo cual permitió establecer los siguientes resultados:

El nivel de daño mecánico fue notablemente menor, puesto que el corte se realizó de forma manual. Esto ayudó a conservar la calidad de mejor forma y los cambios bioquímicos y fisicoquímicos fueron más lentos conservando de mejor forma al producto.

Esto parece señalar que un menor daño mecánico fue la causa que permitió una menor acumulación de CO₂ y un menor consumo de O₂ tanto en condiciones de atmósferas pasivas (R) como activas (M), y mantuvo la calidad sensorial y fisicoquímica de los productos.

Por lo anterior se sugiere que uno de los principales factores de control que debe buscar el procesado industrial es mejorar el procedimiento de corte de este producto para reducir las respuestas a este daño y con ello mejorar la vida de anaquel del mismo.

Es posible que el origen de la materia prima tenga efectos importantes en las respuestas señaladas; no obstante, esto no pudo analizarse en el presente estudio.

9. REFERENCIAS.

- Aguayo, E., Escalona, V.H. and Artés, F. 2004. Metabolic behaviour and quality changes of whole and fresh processed melón. *Journal of Food Science* 69(4): 148–155.
- Allende A., Jacxsens L., Devlieghere F., Debevere J. and Artés F. (2002). Effect of superatmospheric oxygen packaging on sensorial quality, spoilage, and *Listeria monocytogenes* and *Aeromonas caviae* growth in fresh processed mixed salads. *Journal of Food Protection* **65**: 1565–1573.
- Allende, A., Luo, Y., McEvoy, J.L., Artés, F. and Wang, C.Y. 2004. Microbial and quality changes in fresh processed baby spinach stored under superatmospheric O₂ and/or CO₂ atmospheres. *Postharvest Biology and Technology*. 33: 51–59.
- Amanatidou, A., Slump, R.A., Gorris, L.G.M., and Smid, E.J. 2000. High Oxygen and High Carbon Dioxide Modified Atmospheres for Shelf-life Extension of Minimally Processed Carrots. *JFS ? esto que es?: Food Chemistry and Toxicology*. 65(1): 61-66. Checar esta referencia
- Amanatidou, A., Smid, E.J. and Gorris, L.G.M. 1999. Effect of elevated oxygen and carbon dioxide on the surface growth of vegetable-associated microorganisms. *Journal of Applied Microbiology*. 86: 429–438.
- Angelini, R., Tisi, A., Rea, G., Chen, M.M., Botta, M., Federico, R., Cona, A. 2008. Involvement of polyamine oxidase in wound healing. *Plant Physiol*; 146:162-77.
- AniAsghari, M. y Aghdam, M. 2010. Impact of salicylic acid on post-harvest physiology of horticultural crops. *Trends in Food Science & Technology*. 21: 502-559.

AOAC (Association of Official Analytical Chemist) 2002. *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 17th Edition,, Current through Revision # 1. Gaithersburg, USA.

AOAC (Association of Official Analytical Chemist) 1995. *Official Methods of Analysis of AOAC International*. Gaithersburg, USA.

Aquino-Bolaños, E.N. 1998. Efecto de la Temperatura, Composición Atmosférica, Geometría y Variedad en la Conservación de Jícama Mínimamente Procesada. (Tesis de Maestría) Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, Mexico. pp. 50.

Aquino-Bolaños, E.N., Cantwell, M.I., Peiser, G., Mercado-Silva, E. 2000. Changes in the quality of fresh cut jícama in relation to storage temperatures and controlled atmospheres. *J. Food Sci.* 65(7):1238-1243.

Aquino-Bolaños, E.N., Mercado-Silva, E. 2004. Effects of polyphenol oxidase and peroxidase activity, phenolics and lignin content on the browning of cut jícama. *Postharvest Biol. and Technol.* 33: 275-283.

Arenas, Isaac, G.E. 2012. Estudio de la Población Microbiana Productora de gas presente en yacimientos petroleros de Chicontepec, Veracruz. (Tesis de Maestría) CICATA, Querétaro, México. pp. 42.

Artés, F. and Artés-Hernández, F. 2003. Etapas decisivas y diseño de instalaciones para la elaboración de productos procesados en fresco. In: Lobo, M. and González, M. (eds), *Productos hortofrutícolas mínimamente procesados*. Gobierno de Canarias. pp. 57–78.

- Artés, F., Gómez, P.A., and Artés-Hernández, F. 2007. Physical, Physiological and Microbial Deterioration of Minimally Fresh Processed Fruits and Vegetables. *Food Sci Tech Int* 13(3):177–188.
- Artés, F., Martínez, J.A. and Marín, J.G. 1999. Quality changes in minimally processed 'Romaine' lettuce as affected by several treatments. In: Hägg R., Avenhainen R., Evers A. and Tiikkala K. (eds), *Agri-Food Quality II. Quality Management of Fruits and Vegetables*. London, UK: The Royal Society of Chemistry, pp. 115–118.
- Artés, F., Marín, J.G y Martínez, J.A. 1998. Permeability Rates of Films for Modified Atmosphere Packaging of Respring Foods. In: Nicolai, B.M. y Baerdemaeker, J.D. (eds). *Food Quality Modelling*. Belgium, European Comission. p. 153-158.
- Asghari, M. R., Hajitagilo, R., & Jalilimarandi, R. 2009. Postharvest application of salicylic acid before coating with chitosan affects the pattern of quality changes in table grape during cold storage. In 6th International Postharvest Symposium, Antalya, Turkey. p. 8-12.
- Asghari, M. R., Hajitagilo, R., & Shirzad, H. 2007. Postharvest treatment of salicylic acid effectively controls pear fruit diseases and disorders during cold storage. In: *Proceedings of the international congress on Novel approaches for the control of postharvest diseases and disorders*. p. 355-360.
- Ashley Lara Spokowski. 2010. Effect of Refrigerated Vacuum Storage on the Shelf Life of Comingled Broccoli, Cauliflower and Carrots. (Master of science Thesis work) Clemson University. p. 46.
- Ayhan, A., Esturk, O. And Tas, E. 2008. Effect of Modified Atmosphere Packaging on the Quality and Shelf Life of Minimally Processed Carrots. *Turk J Agric*

For. 32: 57-64.

Babalar, M., Asghari, M., Talaei, A., & Khosroshahi, A. 2007. Effect of pre and postharvest salicylic acid treatment on ethylene production, fungal decay and overall quality of Selva strawberry fruit. *Food Chemistry*, 105: 449-453.

Babic, I., Hilbert, G., Nguyen-the, C., Guiraud, J., 1992. The yeast flora of stored ready to use carrots and their role in spoilage. *Int. J. Food Sci. Technol.* 27, 473–484.

Babic, I., Roy, S., Watada, A. and Wergin, W. 1996. Changes in microbial populations in fresh cut spinach. *International Journal of Food Microbiology* 31: 107–119.

Beaudry, R., 1999. Effect of O₂ and CO₂ partial pressure on selected phenomena affecting fruit and vegetable quality. *Postharvest Biol. Technol.* 15, 293–303.

Bergsma, K.A., Brecht, J.K., 1992. Postharvest respiration moisture loss, sensory analysis and compositional changes, in jicama (*Pachyrhizus erosus*) roots. *Acta Hort.* 318: 325–332.

Bolin, H. R., y Huxsoll, C. C. 1991a. Effect of preparation procedures and storage parameters on quality retention of salad cut lettuce. *Journal of Food Science.* 56, 60–67.

Bolin, H. and Huxsoll, C. 1991b. Control of minimally processed carrot (*Daucus carota*) surface discoloration caused by abrasion peeling. *Journal of Food Science* 56: 416–418.

Bradford, M.M.1976. A rapid and sensitive method for the cuantitation of mcrigram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Falta la revista*

- Brecht J. 1995. Physiology of lightly processed fruits and vegetables. HortSci. 30:18-22.
- Buchanan, B., Gruissem W. & R. Jones (2001) *Biochemistry & Molecular Biology of Plants*. American Society of Plant Physiologists. Rockville, Maryland.
- Buescher, R.W. and Hendersen, J. 1977. Reducing discoloration and quality deterioration in snap beans by atmosphere enriched with CO₂. Acta Hort. 62: 55-60.
- Burg, S.P. y Burg, E.A. 1969. Interaction of Ethylene, Oxygen and Carbon dioxide in the Control of Fruit Ripening. Qual. Plant. Matter. Veg. 19:185.
- Buta, J. G., & Abbott, J. A. 2000. Browning inhibition of fresh-cut Anjou, Bartlett, and Bosc pears. Hort Science, 35: 1111–1113.
- Buta, J. G., Molie, H. E., Spaulding, D. W., & Wang, C. Y. 1999. Extending storage life of fresh-cut apples using natural products and their derivatives. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 47: 1–6.
- Cai, X.Z., Zheng, Z., 1999. Induction of systemic resistance in tomato by and incompatible race of *Cladosporium fulvum* and the accumulation dynamics of salicylic acid in tomato plants. Acta Hort. Sinica 29:261–264.
- Casanueva, E. 1995. Catzotl, raíz que mana jugo. Cuadernos de Nutrición. 18(1): 30-34 Enero-Febrero.
- Cantwell M, Orozco W, Rubatzky V, Hernández L. 1992. Post-harvest handling and storage of jicama roots. Acta Hort 318: 333-343.

- Cantwell M. 1998. Fresh-cut biology and requirements. In: Fresh-cut products: Maintaining quality and safety UC Davis Postharvest hort. Series No. 10.
- Cantwell, M.I. and Suslow, T.V. 2002. Fresh-cut fruits and vegetables. In: Kader, A.A. (ed.), Postharvest Technology of Horticultural Crops. Division of Agriculture and Natural Resources. Publication 3311. Davis, US: University of California. pp. 445–463.
- Cantwell M, Orozco W, Rubatzky V, Hernández L. 1992. Post- harvest handling and storage of jicama roots. Acta Hort 318: 333-343.
- Cantwell, M.I., Peiser, G. and Mercado-Silva, E. 2002. Induction of chilling injury in jicama (*Pachyrhizus erosus*) roots: changes in texture, color and phenolics. Postharvest biology and Technology. 25: 311-320.
- Carlin, F., Nguyen-the, C., Cudennec, P., Reich, M., 1989. Microbiological spoilage of fresh ready-to-use carrots. Sci. Aliments 9, 371–386.
- Castañer, M., Gil, M.I., Artés, F. and Tomás-Barberán, F. 1996. Inhibition of browning of harvested head lettuce. Journal of Food Science 61(2): 314–316.
- Catalá, R., Hernández-Muñoz P., López-Carballo G., Gavara R. 2009. Materiales para el envasado de frutas y hortalizas con tratamientos mínimos. Horticultura internacional. 69: 60-65.
- Cemerolu, B., A. Yemeniciolu, A. and M. Özkan. 2001. Meyve Sebzelelerin Bileflimi ve Soukta Depolanmalari. Gıda Teknolojisi Dernei Yayınlari. No: 24. Ankara.
- Cepeda-Maquez, L.G. 2009. Detección de fuentes de contaminación e inactivación de *Leuconostoc mesenteroides* en salchicha viena en una planta

procesadora. Tesis (maestro en ciencias). Querétaro, Qro. Univ. Autónoma de Qro., Facultad de Química. p. 34.

Childs, R.E. y Bardley, W.G. 1975. The steady-state kinetics of peroxidase with 2,2'-azino-di-(3-ethyl-benzthiazoline-6-sulfonic acid) as chromogen. *Biochem. J.* 145:93-103. Esta bien la abreviación? Chéquelo.

Cona, A., Rea, G., Angelini, R., Federico, R., Tavladoraki, P. 2006. Functions of amine oxidases in plant development and defense. *Trends Plant Sci* 11:80–88.

Conesa, A., Artés-Hernández, F., Geysen S., Nicolai, B. and Artés, F. 2007. High oxygen combined with high carbon dioxide improves microbial and sensory quality of fresh-cut peppers. *Postharvest Biology & Technology.* 43(2): 230–237.

Dempsey, D. A., Shah, J., & Klessig, D. F. 1999. Salicylic acid and disease resistance in plants. *Critical Review in Plant Science*, 18: 547-575.

Díaz-Mula, H.M., Zapata, P.J., Guillén, F. et al. 2009. Changes in hydrophilic and lipophilic antioxidant activity and related bioactive compounds during postharvest storage of yellow and purple plum cultivars. *Postharvest Biology and Technology*, 51: 354–363.

Ding, C. K., Wang, C. Y., Gross, K. C., & Smith, D. L. 2001. Reduction of chilling injury and transcript accumulation of heat shock protein genes in tomatoes by methyl jasmonate and methyl salicylate. *Plant Science*, 161: 1153-1159.

Eissa, H., Fadel, H., Ibrahim, G., Hassan, I. and Elrashid, A. 2006. Thiol containing compounds as controlling agents of enzymatic browning in some apple products. *Food Research International* 39: 855–863.

- Fernandez-Escartín, E. 2008. Microbiología e Inocuidad de los Alimentos. Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro. pp. 20.
- Exama, A., Arul, J., Lencki, R.W., Lee, L.Z. and Toupin, C. 1993. Suitability of Plastic Films for Modified Atmosphere Packaging of Fruits and Vegetables. *Journal of Food Science* 58, 6:1365-1370.
- FAO. 1991. Guidelines for slaughtering, meat cutting and further processing. Fuente: <http://www.fao.org/docrep/004/T0279E/T0279E00.htm#TOC>. [Fecha de consulta: 23-October-2014].
- Fernández, M.V., Marid, W.A., Loaiza, J.M., Martínez, J.J. and Serrano, A. 1996. Efecto of planting methods on root characters of jicama (*Pachyrhizus erosus* (L.) Urban). *Jpn. J. Trop. Agr.* 40(1): 26-28.
- Fossen, T., Andersen, O. M., Ovstedal, D.O., Pedersen, A.T. Raknes, A. 1996. Characteristic anthocyanin pattern from onions and other *Allium* spp. *J. Foods Sci.* 61:703-706.
- Fundación Produce Nayarit. 2012. Jícama. Guía Para la Asistencia Técnica Agrícola de Nayarit. En línea: <http://www.fupronay.org.mx/guia%20tecnica/guia/ArchivosPDF/JICAMA.pdf> Fecha de consulta: 04- mayo-2012.
- Galli, F., Archbold, D.D. & Pomper, K.W. 2009. Pawpaw fruit chilling injury and antioxidant protection. *Journal of the American Society of Horticultural Science*, 134: 466–471.
- Gang-Kim, J., Luo, Y., Tao, Y., Saftner, R.A. and Gross, K.C. 2005. Effect of initial oxygen concentration and film oxygen transmission rate on the quality of fresh-cut romaine lettuce. *J Sci Food Agric*, 85: 1622-1630.

- Garg, N., Churey, J. and Splittstoesser, D. 1990. Effect of processing conditions on the microflora of fresh cut vegetables. *Journal of Food Protection*. 53: 701–703.
- Gavara, R. y Catalá, R. 2000. Estudio de interacciones envase-alimento y su incidencia en el aroma de alimentos grasos envasados con materiales plásticos. Tesis doctoral. Universidad de Valencia, España.
- Gómez, P.A. and Artés, F. 2005. Improved keeping quality of minimally fresh processed celery sticks by modified atmosphere packaging. *LWT - Food Science and Technology International*. 38(4): 323–329.
- Hanson, K.R. and Havir E.A. 1979. An Introduction to the enzymology of phenylpropanoid biosynthesis. p. 91-138. In: T. Swain, J.B. Harborne, and C.F. Van Sumere (eds). *Biochemistry of plant phenolics*, Plenum Press, N.Y.
- Hatfield, R. and Vermerris, W. 2001. Lignin Formation in Plants. The Dilemma of Linkage Specificity. American Society of Plant Biologists, *Plant Physiology* (126): pp. 1351–1357.
- Hernández, Valdez, C.E. 2009. Acción efectos de la polifenoloxidasa en alimentos. Monografía. Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz. Esto que es? Una revista, es una publicación periódica? Si la tomo del Internet mejor cite la pagina y fecha de consulta. Si no es así faltan datos para una correcta cita
- Hong, J.H., Mills, D.J., Coffman, C.B., Anderson, J.D., Camp, M.J. and Gross, K.C. 2000. Tomato cultivation systems affect subsequent quality of fresh-cut fruit slices. *J Am Soc Hort Sci*, 125:729 -735.

- Humphreys, J.M., Hemm, M.R. and Chapple, C. 1999. New routes for lignin biosynthesis defined by biochemical characterization of recombinant ferulate 5-hydroxylase, a multifunctional cytochrome P450-dependent monooxygenase. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, (96): pp. 10045–10050.
- Hyodo, H., Kuroda, H. and Yang, S.F. 1978. Induction of Phenylalanine ammonia lyase and increase in phenolics in lettuce leaves in relation to the development of russet spotting caused by ethylene. *Plant Physiol.* 62: 31-35.
- Hyodo, H. and Yang, S.F. 1971. Ethylen-enhanced synthesis of phenilalanine ammonia-lyase in pea seedlings. *Plant Physiol.* 47: 765-770.
- International Commission on Microbiological Specifications for Foods (ICMSF), 1996. In: Roberts, T., Baird-Parker, A., Tompkin, R. (Eds.), *Microorganisms in Foods*, vol. 5. Blackie Academic & Professional, London, UK. 513 pp.
- Jackman, R.L., Stanley, D.W., 1995. Perspectives in the textural evaluation of plant foods. *Trends Food Sci. Technol.* 6: 187–194.
- Jacxsens, L., Devlieghere, F., Ragaert, P., Vanneste, E., and Debevere, J. 2003. Relation between microbiological quality, metabolite production and sensory quality of equilibrium modified atmosphere packaged fresh-cut produce. *International Journal of Food Microbiology.* 83: pp. 263–280
- James, R.G. y Kader, A.A. 1997. Low oxygen and elevated carbon dioxide atmospheres inhibit ethylene biosynthesis in preclimateric and climateric apple fruit. *J. Amer. Soc. Hort. Sct.* 122(4): 542-546.
- Jay, J. M. 1986. Intrinsic and extrinsic parameters of foods that affect microbial growth. *Modern food microbiology.* New York: Van Nostrand Reinhold. pp. 33–60.

- Jiang Y, Shina T, Nakamura N and Nakahara A. 2009. Electrical conductivity evaluation of postharvest strawberry damage. *J Food Sci.* 66: 1392-1395.
- Kader, A.A., Lipton, W.J. and Morris, L.L. 1973. System for Scoring Quality of Harvested Lettuce. *HortScience* 8: 408-410.
- Kader, A.A. 1986. Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables. *Food Tech.* 40: 99-100, 102-104.
- Kader, A., Zagory, D., Kerbel, E., 1989. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 28, 1–30.
- Kakiomenou, K., Tassou, C., Nychas, G., 1996. Microbiological, physiochemical and organoleptic changes of shredded carrots stored under modified storage. *Int. J. Food Sci. Technol.* 31, 359–366.
- Kays, S.J., 1991. *Postharvest Physiology of Perishable Plant Products.* Van Nostrand-Reinhold, New York, USA, p. 532.
- Ke, D. and Saltveit M.E. 1989. Wound-induced ethylene production, phenolic, metabolism and susceptibility to russet spotting in Iceberg lettuce. *Physiol. Plant.* 76: 412-418.
- Ke, D. and Saltveit M.E. 1986. Effects of calcium and auxin on russet spotting and phenylalanine ammonia-lyase activity in Iceberg lettuce. *HortScience.* 21: 1169-1171.
- Ke, D. and Saltveit, M. 1989. Wound-induced ethylene production, phenolic metabolism and susceptibility to russet spotting in iceberg lettuce. *Physiologia Plantarum.* 76(1): 412–418.

- Kim, J. G., Luo, Y., Tao, Y., Saftner, R. and Gross, K. C. 2005. Effect of initial oxygen concentration and film oxygen transmission rate on the quality of fresh-cut romaine lettuce. *J Sci Food Agric*, (85):1622–1630.
- Konica Minolta Sensing, 2007. *Precise Color Communication*. Pp 18-20. Konica Minolta Sensing, INC.
- Kruger, N. J. 2002. The Bradford method for protein quantitation. Part I. *The Protein Protocols Handbook*, 2nd edition DOI: 10.1385/1-59259-169-8:15. Humana Press Inc Totawa, N.J. 15-21.
- Lana, M., Tijsskens L. and Kooten, O. 2005. Effects of storage temperature and fruit ripening on firmness of fresh cut tomatoes. *Postharvest Biology and Technology*. 35(1): 87–95.
- Luo, Z., Chen, C., Xi J. 2011. Effect of salicylic acid treatment on alleviating postharvest chilling injury of ‘Qingnai’ plum fruit. *Postharvest Biology and Technology* 62: 115–120.
- Malamy, J., & Klessig, D. F. 1992. Salicylic acid and plant disease resistance. *Plant Journal*, 2:643-654.
- Manvell, C. 1997. Minimal processing of food. *Food Science and Technology Today*. 11, 107–111.
- Martin-Belloso, O. and Soliva-Fortuny, R. 2006. Effect of modified atmosphere packaging on the quality of fresh cut fruits. *Stewart Postharvest Review*. 1: 3.
- Martínez, J.A., Chiesa, A., Tovar, F. and Artés, F. 2005. Respiration rate and ethylene production of fresh cut lettuce as affected by cutting grade. *Agriculture and Food Science*. 14: 354–361.

- 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. 5(1):114.
- Meena, B., Marimuthu, T., & Velazhahan, R. (2001). Salicylic acid induces systemic resistance in groundnut against late leaf spot caused by *Cercosporidium personatum*. *Journal of Mycology and Plant Pathology*, 31: 139-145.
- Mercado-Silva E, y E.N. Aquino-Bolaños. 2005. Enzimas involucradas en el deterioro. Capítulo 9. En: González-Aguilar GA, AA Gardea, F Cuamea-Navarro (Eds.). *Nuevas Tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados*. Ed. Logiprint Digital S. de R. L. de C.V. Guadalajara Jalisco.México.p179-214
- Mercado, Silva, E., Amador, Vargas, L. y Aquino, Bolaños, E.N. 2006. Efecto de la relación área/volumen y tratamientos térmicos ligeros en la calidad de jícama mínimamente procesada. I Simposio Ibero-Americano de Vegetais Frescos Cortados, San Pedro, SP Brazil. p. 75-81.
- Mercado-Silva, E. and Cantwell, M., 1998. Quality changes in jicama roots stored at chilling and nonchilling temperatures. *J. Food Qual.* 21:211–221.
- Montgomery, M.W. y Sgarberi, V.C. 1975. Isoenzymes of banana polyphenol oxidase. *Phytochemistry.* 14:1245.
- Mo, Y., Gong, D., Liang, G., Han, R., Xie, J., Li, W., 2008. Enhanced preservation effects of sugar apple fruits by salicylic acid treatment during postharvest storage. *J. Sci. Food Agric.* 88: 2693–2699.
- Mudahar, G., Jen, J., 1991. Texture of raw and canned jicama (*Pachyrhizus tuberosus*) and Chinese water chestnut (*Eleocharis dulcis*). *J. Food Sci.* 56,

977–980.

Murr, D.P. and Morris, L.L. 1974. Influence of O₂ and CO₂ on O-diphenol oxidase activity in mushrooms. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 99(22): 155-158.

Nicoli, M., Anese, M. and Severini, C. 1994. Combined effects in preventing enzymatic browning reactions in minimally processed fruit. *Journal of Food Quality.* 17: 221–229.

Orozco-Cárdenas, M.L., Narváez-Vásquez, J. and Ryan, C.A. 2001. Hydrogen peroxide acts as a second messenger for the induction of defense genes in tomato plants in response to wounding, systemin, and methyl jasmonate. *Plant Cell.* 13: 179–191.

Peng, L. y Jiang, Y. 2006. Exogenous salicylic acid inoidahibits browning of fresh-cut Chinese water chestnut. *Food Chemistry* 94: 535–540.

Qin, Q. Z., Tian, S. P., Xu, Y., & Wan, Y. K. 2003. Enhancement of biocontrol efficacy of antagonistic yeasts by salicylic acid in sweet cherry fruit. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 62: 147-154.

Raison, K J. y R. G. Orr. 1990. Proposals for a better understanding of the molecular basi of chilling injury.. En: *Chilling injury of horticultural crops.* Wang, Y.C. (De). CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida. pp.145-164

Robbs, P., Bartz, J., Sargent, G., McFie, G., Hodge, N., 1996b. Potential inoculum sources for decay of fresh cut celery. *J. Food Sci.* 61, 449–452, 455.

Saltveit M. 1998. Fresh-cut product biology. En: *Fresh-cut products: Maintaining quality and safety UC Davis Postharvest Hort. Series No. 10.*

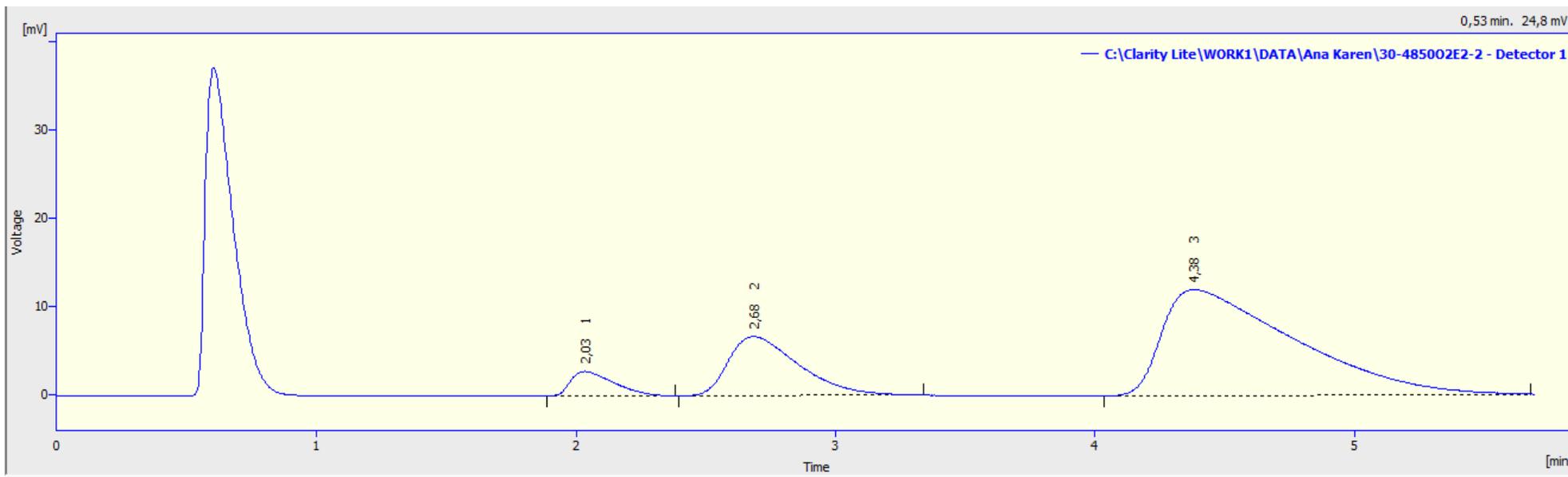
- Sayyari, M., Babalar, M., Kalantari, S., Serrano, M., Valero, D., 2009. Effect of salicylic acid treatment on reducing chilling injury in stored pomegranates. *Postharvest Biol. Technol.* 53: 152–154.
- Singh, S.P. and Singh, Z. 2013. Controlled and modified atmospheres influence chilling injury, fruit quality and antioxidative system of Japanese plums (*Prunus salicina* Lindell). *International Journal of Food Science & Technology.* 48(2): 363-374.
- SIAP. 2012. Producción de jícama por estado con datos de 2010. SAGARPA. En línea:http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=351 Fecha de consulta: 09-mayo-2012.
- Siriphanich J, Kader A. 1985. Effects of CO₂ on total phenolics, phenylalanine ammonia lyase, and polyphenol oxidase in lettuce tissue. *J Amer Soc Hort Sci* 110 : 249-253.
- Soliva-Fortuny, R.C., Elez-Martínez, P., Martín-Belloso, O. 2004. Microbiological and biochemical stability of fresh-cut apples preserved by modified atmosphere packaging. *Innovative Food Science and Emerging Technologies.* (5): 215-224.
- Spokowski, A.L. 2010. Effect of Refrigerated Vacuum Storage on the Shelf Life of Comingled Broccoli, Cauliflower and Carrots. (Thesis of Master of Science Food, Nutrition and Culinary Sciences) Clemson University. pp. 46.
- Sukumaran NP, Jassal JS, Verma SC. 1990. Quantitative determination of suberin deposition during wound healing in potatoes (*Solanum tuberosum* L). *J Sci Food Agric*, 51: 271- 274.

- Srensen, M. 1990. Observations on distribution, ecology and cultivation of the tubbearing legume genus *Pachirhisus*. Rich. ex DC. Agricultural University Wageningen, Netherlands. p. 1-38.
- Srivastava, M.K., Dwivedi, U.N., 2000. Delayed ripening of banana fruit by salicylic acid. *Plant Sci.* 158: 87–96.
- Taiz, L. y Zeiger, E. 2010. *Plant Physiology*. Quinta edición. Universitat Jaume I. University of California, Los angeeles, USA. pp. 782.
- Tian, S., Qin, G., Li, B., Wang, Q., & Meng, X. 2007. Effects of salicylic acid on disease resistance and postharvest decay control of fruits. *Stewart Postharvest Review*, 6:1-7.
- Toivonen P. and Delaquis P. (2006). Low-volume sprays to treat fresh-sliced apples with anti-browning solution. *HortTechnology* 16: 257–261.
- Varoquaux, P. and Wiley, R. 1994. Biological and biochemical changes in minimally processed refrigerated fruits and vegetables. In: Wiley R. (ed.), *Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables*. New York: Chapman & Hall. pp. 226–268.
- Verlegh, P.W.J., and Candel, M.J.J.M. 1999. The consumption of convenience foods: Reference groups and eating situations. *Food Quality and Preference*. 10, 457–464.
- Vilas, Boas, E. and Kader A.A. 2001. Effect of 1-MCP on fresh cut fruits. *Perishables Handling Quarterly* 108: 25.
- Walter Jr, WMB Randall-Schadel, WE Schadel. 1990. Wound healing in cucumber fruit. *J. Am. Hort. Sci.*115: 444-452

- Weller, A., Sims, C., Matthews, R., Bates, R. and Brecht, J. 1997. Browning susceptibility and changes in composition during storage of carambola slices. *Journal of Food Science*. 62: 256–260.
- Whetten, R.W., Mackay, J.J. y Sederoff, R.R. 1998. Recent Advances in Understanding Lignin Biosynthesis. *Annu. Rev. Plant Physiol.* (49): 558-606.
- Wills, R., McGlasson, B., Graham, D. and Joyce, D. 1998. *Postharvest. An Introduction to the Physiology and Handling of Fruit, Vegetables and Ornamentals*. UNSW Press. pp. 102–103.
- Yao, H. and Tian, S. 2005. Effects of pre- and post-harvest application of salicylic acid or methyl jasmonate on inducing disease resistance of sweet cherry fruit in storage. *Postharvest Biology and Technology*, (35): 253-262.
- Zeng, K. F., Cao, J. K., & Jiang, W. B. (2006). Enhancing disease resistance in harvested mango (*Mangifera indica* L. cv. Matisu) fruit by salicylic acid. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86: 694-698
- Zhang, Y., Chen, K., Zhang, S., & Ferguson, I. 2003. The role of salicylic acid in postharvest ripening of kiwifruit. *Postharvest Biology and Technology*, 28: 67-74.

ANEXOS

ANEXO A



Cromatograma obtenido del material de referencia con una concentración de 5 % de CO₂ balance en aire. Se encontró la primera señal a un tiempo de retención de 2.03 min con un % A de 5.5 que corresponde al CO₂, la segunda señal a un tiempo de retención de 2.68 min con un % A de 21.7 que corresponde al O₂ y la tercera señal a un tiempo de retención de 4.38 min con un % A de 72.8 % que corresponde al N₂. El tiempo total de análisis fue de 6 min.

ANEXO B

Tabla de Abreviaturas generales

h	Hora
µL	Microlitros
°C	Grado centígrado
mg	Miligramo
mL	Mililitro
Log	Logaritmo base 10
cm ²	Centímetro cuadrado
nm	Nanómetro
UFC	Unidades formadoras de colonias
MRS	Agar de Man-Rogosa Sharp
µL	Microlitros

ANEXO C

Escalas visuales de la evaluación subjetiva de la calidad



Excelente



Buena



Regular



Pobre



Extremadamente pobre

Escala de evaluación de la calidad visual de JMP.



Ninguno



Ligero



Moderado



Severo



Extremo

Escala de evaluación del oscurecimiento de JMP.



Ninguno



Ligero



Moderado



Severo



Extremo

Escala de evaluación de la crujencia de JMP.



Ninguno



Ligero



Moderado



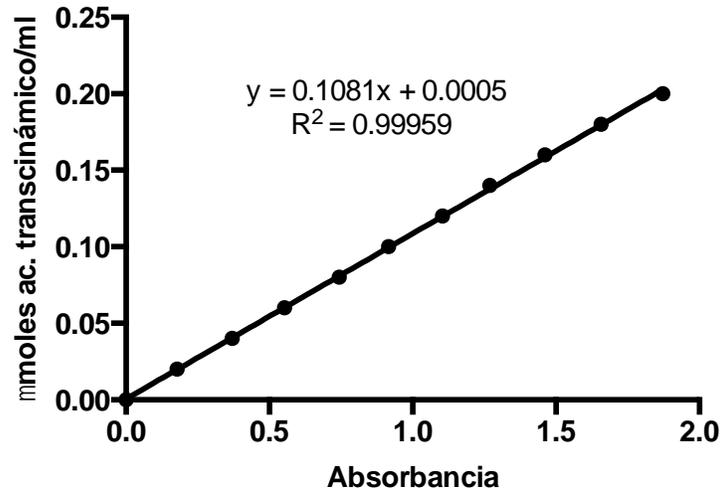
Severo



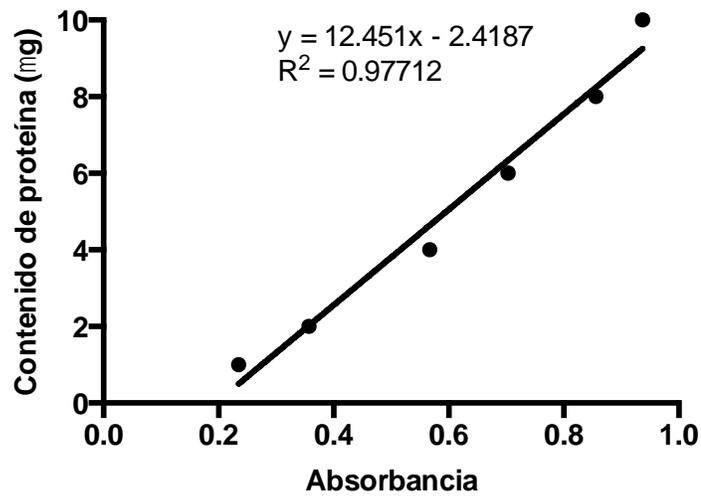
Extremo

Escala de evaluación del desarrollo viscosidad en la JMP.

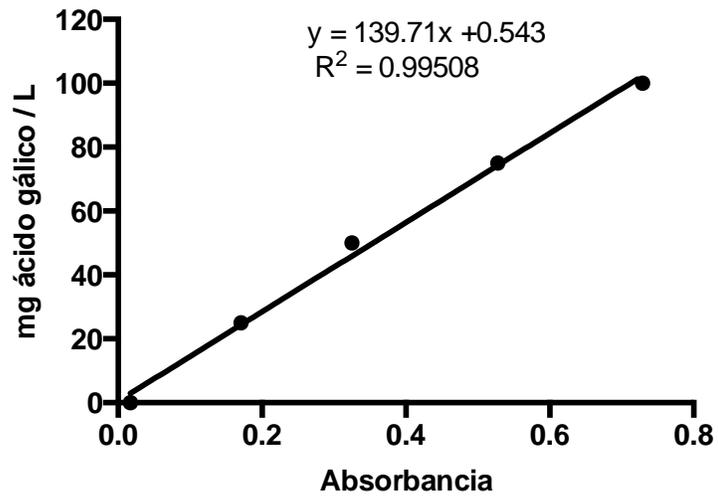
APENDICE.



Apéndice 1. Curva estándar de calibración para determinar la actividad de PAL.



Apéndice 2. Curva estándar para determinar el contenido de proteína.



Apéndice 3. Curva estándar para determinar la concentración de fenoles totales.