

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

**“EFECTO POSTCOSECHA DE LA APLICACIÓN
DE CALOR HUMEDO EN LA ESTRUCTURA DE LAS
CAPAS DE CERA EPICUTICULAR EN 6 VARIEDADES
DE TUNA (*Opuntia spp.*)”**

TESIS

Que como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA:

JOAQUÍN ANTONIO LÓPEZ CASTAÑEDA



Junio de 2008

Chapingo, Estado de México



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

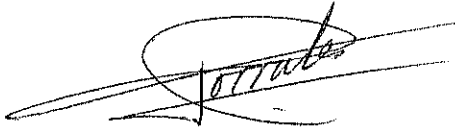
**“EFECTO POSTCOSECHA DE LA APLICACIÓN DE CALOR HÚMEDO EN LA
ESTRUCTURA DE LAS CAPAS DE CERA EPICUTICULAR EN 6 VARIEDADES DE
TUNA (*Opuntia spp.*)”**

Tesis realizada por el C. Joaquín Antonio López Castañeda bajo la dirección del comité asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA

JURADO EXAMINADOR

DIRECTOR:



DR. J. JOEL E. CORRALES GARICÍA

ASESOR:



DRA. TERESA TERRAZAS SALGADO

ASESOR:



DRA. TERESA COLINAS LEÓN

AGRADECIMIENTOS

Al CONACYT por el financiamiento otorgado para la realización de mis estudios.

A la Universidad Autónoma Chapingo, por darme una vez más la dicha de superarme y poder estudiar el posgrado.

A la Maestría en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria por brindarme todo lo necesario para llevar a buen término mi formación.

Al Instituto Biología de la UNAM y Laboratorio de Botánica del CP, por el valioso apoyo brindado para la realización de la fase experimental de la presente investigación.

Al Dr. Joel Corrales García, por la acertada dirección y el gran apoyo dado para la realización de la presente investigación y por la amistad que me brindó durante mi estancia en el posgrado.

A la Dra. Teresa Terrazas Salgado, del Instituto Biología de la UNAM, por su asesoría y apoyo sobre todo durante la fase de experimental de la presente investigación.

A la Dra. Teresa Colinas de León por su disponibilidad constante y asesoría en la realización de la presente investigación.

DEDICATORIAS

Con todo mi cariño a quien confió plenamente en mí y me ha ofrecido su amor, comprensión y apoyo:

Mi madre Martha Castañeda Guadarrama

A mi Abuela, mi hermana, Mama Cony, Gilberto y demás familia por externarme siempre su cariño.

A Brenda por ofrecerme su amor y estar conmigo en todo momento, y darme un hijo por el cual me superaré cada día, para ser mejor persona.

A todas las personas que me ofrecieron su amistad durante mi estancia en la Universidad. Leo, Flora, Víctor, Jaque, Francisco, Tadeo, Cesar, Carlos, Rafa, Enrique.

DATOS BIOGRÁFICOS

Joaquín Antonio López Castañeda, realizó sus estudios de licenciatura en el Departamento de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Autónoma Chapingo y se tituló con felicitación. De manera profesional ha trabajado en calidad y certificación postcosecha de diversos productos hortofrutícolas para el mercado nacional y de exportación, desde la producción primaria hasta su comercialización.

EFFECTO POSTCOSECHA DE LA APLICACIÓN DE CALOR HÚMEDO EN LA ESTRUCTURA DE LAS CAPAS DE CERA EPICUTICULAR EN SEIS VARIEDADES DE TUNA (*Opuntia spp.*)

APPLICATION POSTHARVEST OF HUMID HEAT IN THE STRUCTURE OF EPICUTICULAR WAX LAYERS IN SIX VARIETIES OF CACTUS PEAR FRUIT (*Opuntia spp.*)

López-Castañeda J.¹, Corrales-García J.², Terrazas-Salgado T.³, Colinas-León T.⁴

RESUMEN

La tuna (*Opuntia spp.*) aunque es un fruto no climatérico, es altamente perecedero, entre otras cosas debido al gran deterioro causado por lesiones, pudriciones y elevada transpiración. Estos efectos se relacionan directamente con la cáscara y su función como barrera protectora. En este trabajo se determinó si existe relación entre la microestructura epicuticular con la pérdida de peso, respiración, grosor de cutícula, apariencia y presencia de pudriciones en seis variedades de tuna, almacenadas durante 15 d a temperatura ambiente y 30 d a 10 °C; así como la respuesta de cada variedad a diferentes tratamientos de calor húmedo (35, 38 y 42°C por 12 y 24h). Los resultados indicaron diferencia entre variedades en cuanto microestructura epicuticular y en la respuesta a la aplicación de calor húmedo. En general la aplicación de calor húmedo causó el reacomodo de las capas de cera epicuticular, así como una reducción en la pérdida de peso y mejor apariencia del fruto, efectos que dependieron de la variedad. Los tratamientos con los que se obtuvo la menor pérdida de peso y la mejor apariencia fueron 35°C por 24 h para "Amarillo Milpa Alta", 38°C por 12 h para "Alfajayucan", "Cristalina" y "Rojo Pelón", y 38°C por 24 h para "Sangre de Toro". La respiración no presentó cambios importantes antes y después de cada tratamiento; el grosor de cutícula y la presencia de pudriciones no presentaron tendencias contundentes en la relación a la aplicación de tratamientos.

Palabras clave: *Opuntia spp.*, calor húmedo, pérdidas de peso, microestructura

SUMMARY

The cactus pear (*Opuntia spp.*) is a highly perishable fruit in spite of its not climacteric features. Some of the reasons affecting its preservation are physical injuries, decays, and high transpiration. These effects are directly related to the peel and its function as protective barrier. The objective of this study was to determine if there is an association among the following variables: epicuticular microstructure, weight loss, respiration, cuticle thickness, appearance, and presence of decays in six varieties of cactus pear, stored for 15 days to room temperature and 30 days at 10 °C. Additional humid heat treatments (35, 38 and 42°C for 12 and 24h) were evaluated. The results showed difference in epicuticular microstructure and response to humid heat treatments among varieties. In general, the application of humid heat caused a rearrangement of epicuticular wax layers, a reduction in weight loss and better appearance of the fruit. These effects were dependent on the variety. The treatments that showed the minor weight loss and the best appearance were at 35°C for 24h for "Amarillo Milpa Alta", 38°C for 12h for "Alfajayucan", "Cristalina", and "Rojo Pelón", and 38°C for 24h for "Sangre de Toro". No significant changes in respiration were identified before and after every treatment. No strong association was found among thickness of cuticle and the presence of putrefactions and treatments.

Key words: Cactus pear, humid heat, weight losses, microstructure

¹ Egresado de la Maestría en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. Méx.

² Profesor Investigador del Departamento de Ingeniería Agroindustrial. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. Méx.

³ Profesor Investigador del Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. D.F. Méx.

⁴ Profesor Investigador del Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Méx.

ÍNDICE

INDICE DE CUADROS	i
INDICE DE FIFURAS.....	ii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. JUSTIFICACIÓN	3
3. MARCO DE REFERENCIA.....	5
3.1 LA PRODUCCIÓN DE TUNA EN MÉXICO.....	6
3.3 FUNCIÓN DE LA CUTÍCULA.....	9
3.4 FISIOLOGÍA Y TECNOLOGÍA POSTCOSECHA.....	10
3.5 PRINCIPALES FACTORES DE DETERIORO	11
3.6 MANEJO POSTCOSECHA	12
3.6.1 Cosecha	12
3.6.2 Desespinado	13
3.6.3 Encerado.....	14
3.6.4 Selección y empaque.....	14
3.6.5 Almacenado	15
4. OBJETIVOS	18
5. HIPÓTESIS	19
6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	20
6.1 OBTENCIÓN DE MATERIAL VEGETAL.....	20
6.2 TRATAMIENTOS CON CALOR HÚMEDO	21

6.3 ESTRUCTURA MORFOANATÓMICA DE LAS CÁSCARA	23
6.3.1 <i>Análisis de las capas de cera epicuticular</i>	23
6.3.2 <i>Grosor de cutícula.....</i>	24
6.4 COMPORTAMIENTO FISIOLÓGICO	25
6.4.1 <i>Pérdida fisiológica de peso</i>	25
6.4.2 <i>Patrón de respiración.....</i>	25
6.4.3 <i>Parámetros de calidad</i>	26
6.5 ANÁLISIS DE DATOS	27
7. RESULTADOS.....	28
7.1 ESTRUCTURA EPICUTICULAR	28
7.2 PÉRDIDA DE PESO	44
7.3 RESPIRACIÓN	55
7.4 GROSOR DE CUTÍCULA.....	60
7.5 APARIENCIA	64
7.6 PUDRICIONES	73
8.CONCLUSIONES	82
APENDICE 1.....	90

ÍNDICE DE CUADROS

1. Pérdida de peso (%) de seis variedades de frutos de tuna después del tratamiento térmico y almacenados durante 15 d a temperatura ambiente. 48
2. Pérdida de peso (%) de seis variedades de frutos de tuna después del tratamiento térmico y almacenados durante 30 d a 10°C. 49
3. Tasa media de respiración (n=15) de seis variedades de frutos de tuna después del tratamiento térmico y almacenadas durante 15 d a temperatura ambiente 57
4. Grosor de cutícula (μm) de seis variedades de frutos de tuna después del tratamiento térmico 62
5. Calificación promedio de la apariencia de seis variedades de frutos de tuna en frutos almacenados durante 15 d a temperatura ambiente. 69
6. Calificación promedio de la apariencia de seis variedades de frutos de tuna en frutos almacenados durante 30 d a 10°C..... 69
7. Calificación promedio de presencia de pudriciones en seis variedades de frutos de tuna después del tratamiento térmico y almacenados durante 15 d a temperatura ambiente..... 76
8. Calificación promedio de presencia de pudriciones en seis variedades de frutos de tuna después de los tratamientos térmicos y almacenados durante 30 d a 10 ° C. 77

ÍNDICE DE FIGURAS

1-4. Microfotografías de las ceras epicuticulares de la variedad "Alfajayucan". Fig 1. Testigo con espinas. Fig 2. Testigo desespinado. Fig 3. 35°C por 12 h. Fig 4. 35°C por 24 h	32
5-8. Microfotografías de las ceras epicuticulares de la variedad "Alfajayucan". Fig 5. 38°C por 12 h. Fig 6. 38°C por 24 h. Fig 7. 42°C por 12 h. Fig 8. 42°C por 24 h.	33
9-12. Microfotografías de las ceras epicuticulares de la variedad "Amarillo Milpa Alta". Fig 9. Testigo con espinas. Fig 10. Testigo desespinado. Fig 11. 35°C por 12 h. Fig 12. 35°C por 24 h.	34
13-16. Microfotografías de las ceras epicuticulares de la variedad "Amarillo Milpa Alta". Fig 13. 38°C por 12 h. Fig 14. 38°C por 24 h. Fig 15. 42°C por 12 h. Fig 16. 42°C por 24 h.	35
17-20. Microfotografías de las ceras epicuticulares de la variedad "Cristalina". Fig 17. Testigo con espinas. Fig 18. Testigo desespinado. Fig 19. 35°C por 12 h. Fig 20. 35°C por 24 h.	36
21-24. Microfotografías de las ceras epicuticulares de la variedad "Cristalina". Fig 21. 38°C por 12 h. Fig 22. 38°C por 24 h. Fig 23. 42°C por 12 h. Fig 24. 42°C por 24 h.	37
25-28. Microfotografías de las ceras epicuticulares de la variedad "Rojo 3589". Fig 25. Testigo con espinas. Fig 26. Testigo desespinado. Fig 27. 35°C por 12 h. Fig 28. 35°C por 24 h.	38
29-32. Microfotografías de las ceras epicuticulares de la variedad "Rojo 3589". Fig 29. 38°C por 12 h. Fig 30. 38°C por 24 h. Fig 31. 42°C por 12 h. Fig 32. 42°C por 24 h.	39
33-36. Microfotografías de las ceras epicuticulares de la variedad "Rojo Pelón". Fig 33. Testigo con espinas. Fig 34. Testigo desespinado. Fig 35. 35°C por 12 h. Fig 36. 35°C por 24 h.	40
37-40. Microfotografías de las ceras epicuticulares de la variedad "Rojo Pelón". Fig 37. 38°C por 12 h. Fig 38. 38°C por 24 h. Fig 39. 42°C por 12 h. Fig 40. 42°C por 24 h.	41
41-44. Microfotografías de las ceras epicuticulares de la variedad "Sangre de Toro". Fig 41. Testigo con espinas. Fig 42. Testigo desespinado. Fig 43. 35°C por 12 h. Fig 44. 35°C por 24 h.	42
45-48. Microfotografías de las ceras epicuticulares de la variedad "Sangre de Toro". Fig 45. 38°C por 12 h. Fig 46. 38°C por 24 h. Fig 47. 42°C por 12 h. Fig 48. 42°C por 24 h.	43
49. Pérdida de peso (%) de seis variedades de frutos de tuna intactas después de un almacenamiento por 15 d a temperatura ambiente.	44

50. Pérdida de peso (%) de seis variedades de frutos de con espinas después de un almacenamiento por treinta d a 10°C.	45
51. Comparación de pérdidas de peso (%) en seis variedades de frutos de tuna intactos y sin espinas después de un almacenamiento por 15 d a temperatura ambiente.	46
52. Comparación de pérdidas de peso (%) en frutos de tuna intactos y sin espinas de seis variedades después de un almacenamiento por 30 d a 10°C	47
53. Efecto del tiempo de exposición a calor húmedo en 6 variedades de tuna sobre la pérdida de peso (%) a los 15 d de almacenamiento a temperatura ambiente.	51
54. Efecto de la temperatura de exposición a calor húmedo en 6 variedades de tuna sobre la pérdida de peso (%) a los 15 d de almacenamiento a temperatura ambiente.	52
56. Efecto de la temperatura de exposición al calor húmedo en 6 variedades de tuna sobre la pérdida de peso (%) a los 30 d de almacenamiento a 10°C	54
55. Efecto del tiempo de exposición al calor húmedo en 6 variedades de tuna sobre la pérdida de peso (%) a los 30 d de almacenamiento a 10°C... ..	53
56. Efecto de la temperatura de exposición al calor húmedo en 6 variedades de tuna sobre la pérdida de peso (%) a los 30 d de almacenamiento a 10°C.	54
57. Tasa media (n=15) de respiración ($\text{mLCO}_2\text{kg}^{-1}\text{L}^{-1}$) de frutos de tuna de seis variedades durante su almacenamiento por 15 d a temperatura ambiente.....	56
58. Comparación de la tasas medias (n=15) de respiración ($\text{mLCO}_2\text{kg}^{-1}\text{L}^{-1}$) en frutos con y sin espinas de seis variedades de tuna después de 15 de almacenamiento a temperatura ambiente..	56
59. Efecto del tiempo de exposición al calor húmedo en 6 variedades de frutos de tuna sobre la tasa media de respiración ($\text{mLCO}_2\text{kg}^{-1}\text{L}^{-1}$) durante 15 d de almacenamiento a temperatura ambiente.	59
60. Efecto de la temperatura de exposición al calor húmedo en 6 variedades de frutos de tuna sobre la tasa media de respiración ($\text{mLCO}_2\text{kg}^{-1}\text{L}^{-1}$) durante 15 d de almacenamiento a temperatura ambiente.	59
61. Grosor de cutícula (μm) de seis variedades de frutos de tuna intactos.....	60
62. Comparación de grosor de cutícula entre frutos de seis variedades de tuna con y sin espinas	60
63. Efecto del tiempo de exposición de seis variedades de frutos de tuna sobre el grosor de la cutícula.	63
64. Efecto de la temperatura de exposición de seis variedades de frutos de tuna sobre el grosor de la cutícula.	64
65. Calificación promedio de la apariencia de seis variedades de frutos de tuna después de 15 d de almacenamiento a temperatura ambiente.	65
66. Calificación promedio de la apariencia de seis variedades de frutos de tuna después de 30 d de almacenamiento a 10°C.....	66

67. Comparación de la calificación promedio de la apariencia de seis variedades de tunas en frutos con y sin espinas después de 15 d de almacenamiento a temperatura ambiente.	67
68. Comparación en la apariencia de seis variedades de tunas en frutos con y sin espinas después de 30 d de almacenamiento a 10°C.	67
69. Efecto del tiempo de exposición al calor húmedo sobre la apariencia de frutos de tuna durante 15 d de almacenamiento a temperatura ambiente.	70
70. Efecto de la temperatura de tratamiento en seis variedades de frutos de tuna sobre la apariencia durante 15 d de almacenamiento a temperatura ambiente.	70
71. Efecto del tiempo de exposición al calor húmedo en seis variedades de frutos de tuna sobre la apariencia durante 30 d a 10°C	71
72. Efecto de la temperatura de tratamiento en seis variedades de frutos de tuna sobre la apariencia durante 30 d 10°C	71
73. Calificación de las pudriciones en seis variedades de frutos de tuna durante 15 d de almacenamiento a temperatura ambiente	73
74. Calificación promedio de las pudriciones en seis variedades de frutos de tuna durante 30 d de almacenamiento a 10°C	74
75. Comparación de la calificación promedio de las pudriciones de seis variedades de frutos de tuna con y sin espinas después de un almacenamiento por 15 d a temperatura ambiente	75
76. Comparación de la calificación promedio de las pudriciones de seis variedades de tuna entre frutos con y sin espinas después de un almacenamiento por 30 d a 10°C	75
77. Efecto del tiempo de exposición al calor húmedo en seis variedades de frutos de tuna sobre la presencia de pudriciones después 15 d a temperatura ambiente	78
78. Efecto temperatura de tratamiento en seis variedades de frutos de tuna sobre la presencia de pudriciones después 15 d a temperatura ambiente.	78
79. Efecto del tiempo de exposición al calor húmedo en seis variedades de frutos de tuna sobre la presencia de pudriciones después 30 d a 10°C	79
80. Efecto temperatura de tratamiento en seis variedades de frutos de tuna sobre la presencia de pudriciones después 30 d a 10°C.	79
81-84. Cortes Transversales de la cáscara de la variedad "Alfajayucan". Fig 81. Testigo con espinas. Fig 82. Testigo desespinado. Fig 83. 35°C por 12 h. Fig 84. 35°C por 24 h	91
85-88. Cortes transversales de la cáscara de la variedad "Alfajayucan". Fig 85. 38°C por 12 h. Fig 86. 38°C por 24 h. Fig 87. 42°C por 12 h. Fig 88. 42°C por 24 h	92
89-92. Cortes Transversales de la cáscara de la variedad "Amarillo Milpa Alta". Fig 89. Testigo con espinas. Fig 90. Testigo desespinado. Fig 91. 35°C por 12 h. Fig 92. 35°C por 24 h	93

93-96. Cortes transversales de la cáscara de la variedad "Amarillo Milpa Alta". Fig 93. 38°C por 12 h. Fig 94. 38°C por 24 h. Fig 95. 42°C por 12 h. Fig 96. 42°C por 24 h	94
97-100. Cortes Transversales de la cáscara de la variedad "Cristalina". Fig 97. Testigo con espinas. Fig 98. Testigo desespinado. Fig 99. 35°C por 12 h. Fig 100. 35°C por 24 h	95
101-104. Cortes transversales de la cáscara de la variedad "Cristalina". Fig 101. 38°C por 12 h. Fig 102. 38°C por 24 h. Fig 103. 42°C por 12 h. Fig 104. 42°C por 24 h	96
105-108. Cortes Transversales de la cáscara de la variedad "Rojo 3589". Fig 105. Testigo con espinas. Fig 106. Testigo desespinado. Fig 107. 35°C por 12 h. Fig 108. 35°C por 24 h	97
109-112. Cortes transversales de la cáscara de la variedad "Rojo 3589". Fig 109. 38°C por 12 h. Fig 110. 38°C por 24 h. Fig 111. 42°C por 12 h. Fig 112. 42°C por 24 h	98
113-116. Cortes Transversales de la cáscara de la variedad "Rojo Pelón". Fig 113. Testigo con espinas. Fig 114. Testigo desespinado. Fig 115. 35°C por 12 h. Fig 116. 35°C por 24 h	99
117-120. Cortes transversales de la cáscara de la variedad "Rojo Pelón". Fig 117. 38°C por 12 h. Fig 118. 38°C por 24 h. Fig 119. 42°C por 12 h. Fig 120. 42°C por 24 h	100
121-124. Cortes Transversales de la cáscara de la variedad "Sangre de Toro". Fig 121. Testigo con espinas. Fig 122. Testigo desespinado. Fig 123. 35°C por 12 h. Fig 124. 35°C por 24 h	101
125-128. Cortes transversales de la cáscara de la variedad "Sangre de Toro". Fig 125. 38°C por 12 h. Fig 126. 38°C por 24 h. Fig 127. 42°C por 12 h. Fig 128. 42°C por 24.....	102

1. INTRODUCCIÓN

La estructura y composición de la epidermis (cáscara), incluyendo la cutícula y ceras epicuticulares del exocarpo constituye una barrera natural en los frutos contra agentes externos que pueden afectar la calidad. A través de estas estructuras se da el intercambio gaseoso, como la respiración y transpiración, que dependiendo de su intensidad, llevan a una pérdida de peso durante el almacenamiento.

Las características morfoanatómicas del exocarpo o cáscara del fruto, determinan su eficiencia como barrera protectora y muy probablemente su arreglo, composición y estructura sea característica particular de cada especie y variedad, por lo consiguiente éstas presentan diferente velocidad de deterioro.

La tuna es un fruto no climatérico y es altamente perecedero, entre otras cosas debido al gran deterioro causado por lesiones (desespinado y mal manejo), pudriciones y elevada transpiración. Estas causas de deterioro se relacionan directamente con la cáscara.



Se sabe que algunas variedades de tuna son menos perecederas y responden mejor a la frigoconservación que otras (Corrales *et al.*, 1997), pero se desconoce si estas respuestas están asociadas a las características morfoanatómicas de su cáscara, particularmente al acomodo estructural de sus ceras epicuticulares.

También se sabe que la exposición de la tuna al calor húmedo mejora el acomodo de las ceras epicuticulares para la variedad "Gialla" (Schirra *et al.* 1999). Sin embargo, este efecto se desconoce para otras variedades.

En la presente investigación se analizaron las características de las capas de cera epicuticular en seis variedades mexicanas de tuna y se evaluaron los efectos morfológicos y fisiológicos al aplicar calor húmedo en cada una de éstas.



2. JUSTIFICACIÓN

México es el principal productor de tuna (*Opuntia spp.*) a nivel mundial y segundo país exportador (Inglese *et al.*, 2002). La mayoría de la producción se destina al mercado interno, y puntos de venta cercanos al de la producción, ya que en las condiciones actuales en que se maneja, y aunque es un fruto no climatérico, la vida de anaquel es muy corta y por lo tanto su tiempo de comercialización también.

Los principales factores de deterioro de la tuna son causados por el desespinado y un mal manejo, además de pudriciones y elevada transpiración. La capacidad de resistencia a estos factores es diferente entre variedades, ya que algunas son menos perecederas que otras. En este sentido, se desconoce en qué medida estas respuestas están asociadas a las características morfoanatómicas de su cáscara, particularmente al acomodo estructural de sus capas cerosas.



Un tratamiento con calor húmedo podría mejorar el acomodo de dichas capas. En Italia, Schirra *et al.* (1996, 1997, 1999) reportaron que el tratamiento con calor húmedo tuvo un efecto positivo y mejoró la eficiencia de la cáscara como barrera protectora en frutos de tuna de la variedad "Gialla"; sin embargo, no existe información publicada de este efecto para las variedades mexicanas.

Dado que México cuenta con una gran diversidad de variedades de tuna, es necesario estudiar y probar nuevas y diversas tecnologías a fin de determinar las más apropiadas para mejorar su manejo postcosecha y comercialización.

El conocimiento de la estructura de la cáscara, así como de sus ceras epicuticulares y la respuesta de cada variedad a diferentes condiciones de calor húmedo, permitirá determinar si existe relación entre éstas y la velocidad de deterioro. Además de aportar las bases para mejorar el desarrollo tecnológico del manejo postcosecha de este fruto.



3. MARCO DE REFERENCIA

En el mundo se conocen aproximadamente 200 especies de tuna. Son originarias del continente americano y se encuentran desde el norte de Canadá hasta el sur de Chile. Actualmente se han introducido en más de 30 países, donde se aprovechan en la producción de frutos, verdura, forraje y como sustrato en la cría de la cochinilla (Méndez y García, 2006)

Parte de la importancia de la tuna en México, radica en que éste es el principal productor a nivel mundial con 366,000 t (SIACON, 2006) y segundo país exportador, después de Italia (Inglese *et al.*, 2002). Además de ser considerado uno de los centros de origen (Pimienta-Barrios y Nobel, 1995), con aproximadamente 80 especies y 150 cultivares (Méndez y García, 2006).

La tuna, al igual que otras especies frutícolas que se producen en México requiere de una investigación básica integral que permita sentar las bases para mejorar las técnicas de producción, manejo y aprovechamiento. Para la comercialización se necesita un producto de buena calidad y presentación, siendo ésta muy problemática en tuna. Además de que el tiempo de vida postcosecha es muy reducido (aproximadamente de 10-15 d) en condiciones normales de almacenamiento (22°C); aunado a esto, cada variedad responde

de manera diferente al manejo postcosecha o a cualquier tratamiento de conservación (Corrales *et al.*, 1997).

La comercialización de la tuna ha sido muy fluctuante, debido a que está relacionada directamente con la estacionalidad de la cosecha, la calidad del producto y el intermediarismo. Además de que no recibe la atención necesaria en cuanto a clasificación y manejo, que le proporcionen valor agregado y calidad para alcanzar mercados más sofisticados en la cadena de su distribución en los grandes centros de consumo. Aunque en la tunas existan varias formas de conservación y transformación, se consumen preferentemente en estado fresco (López-Bernal, 2001).

3.1 LA PRODUCCIÓN DE TUNA EN MÉXICO

Una de las ventajas que posee nuestro país en la producción de tuna es la riqueza genética del nopal; esto permite ofrecer al mercado frutos con una diversidad de tonalidades (rojo, blanco, amarillo), con una amplia estacionalidad, frutos de maduración temprana (mayo), intermedia (agosto) y tardía (noviembre), aunque el grueso de la producción nacional se da en los meses de agosto, septiembre y octubre. Por otra parte, la diversidad de cultivares brinda frutos con diversas características, como la forma, el sabor (ácidos y dulces) y el tamaño, frutos con altos porcentajes de semillas, con presencia de antioxidantes, etc. Por el contrario, en la mayor parte de los países

donde se produce tuna comercialmente, la producción depende de uno o dos cultivares (Méndez y García, 2006).

En México, la producción de tuna, en la que participan alrededor de 20 mil productores, ocupa una superficie aproximada de 51 000 ha (SIACON, 2006) y se concentra principalmente en tres regiones: Puebla (Acatzingo y Quecholac), Valle de México (estado de México e Hidalgo) y el Altiplano Potosino (Aguascalientes, Jalisco, Guanajuato, San Luis Potosí y Zacatecas). Esta última aporta casi el 50% del volumen total de la producción nacional. El rendimiento promedio es de 7 t por hectárea con oscilaciones entre las distintas regiones productoras de entre 5 y 20 t/ha. La interacción genotipo-ambiente en cada una de estas regiones permite la maduración de los diferentes cultivares, desde el mes de mayo hasta el mes de noviembre (Méndez y García, 2006).

Sin embargo, la tuna no siempre ha sido muy apreciada, ya sea por el desconocimiento de sus propiedades, la presencia de pequeñas espinas denominadas gloquidias o semillas grandes y numerosas. A pesar de ello, este fruto puede considerarse entre los más nutritivos y saludables, con características organolépticas únicas, se obtiene por medio de técnicas tradicionales y con bajos niveles de insumos e inversiones; además, sus características morfológicas y fisiológicas particulares les confieren una notable capacidad de adaptación a los ambientes más hostiles, donde se multiplican y desarrollan fácilmente, proporcionando una productividad más alta que la de muchas de las actuales plantas cultivadas (Méndez y García, 2006).

3.2 LA TUNA EN ITALIA

La producción italiana está basada en el cultivo especializado de 8 mil ha de una sola especie y tres variedades, amarilla, roja y blanca, con una amplia predominancia por la amarilla (90%). Recientemente se está intensificando el establecimiento de un cultivar llamado Apirena, el cual tiene como principal característica conveniente contener una alto porcentaje de semillas abortivas. Su producción se concentra principalmente en Sicilia (95%).

Sus sistema de cultivo se caracteriza por la utilización de una alta densidad de plantación conformando setos, así como por el uso de sistemas de riego y prácticas de cultivo como la "scozzolatura" (atraso o demora de la cosecha, mediante la eliminación de la yemas que aparecen en la primavera para alcanzar la maduración hasta el otoño), el aclareo del fruto y altas dosis de fertilizantes, entre otras. Italia es considerada la principal zona exportadora a nivel mundial, con rendimientos de hasta 25 t por hectárea. Además, un importante volumen de la producción es recolectado en plantas de nopal espontáneas que se desarrollan en serranías, terrenos ociosos e improductivos e incluso en huertos en combinación con cítricos y olivo. Adicionalmente, este país dispone de mejores instalaciones para el empaque y excelentes redes de distribución (Méndez y García, 2006).



3.3 FUNCIÓN DE LA CUTÍCULA

La cutícula es un elemento estructural esencial y de importancia funcional por ser el primer tejido de los órganos vegetales que interacciona con el ambiente (Kunst y Samuels, 2003). Desde el punto de vista estructural, la cutícula está compuesta por una matriz de cutina, en la cual se encuentran las ceras intracuticulares y están cubiertas por las ceras epicuticulares (Heredia, 2003). Su integridad es afectada por factores genéticos, ambientales, fisiológicos y de manejo tanto en campo como en postcosecha (Jenks *et al.*, 2002).

El papel fisiológico de la cutícula incluye la regulación en la transpiración y mantenimiento del balance de agua (Veraverbeke *et al.*, 2003; Wagner *et al.*, 2003), intercambio de gases (Kolattukudy, 1996), de la protección contra patógenos y contra daños mecánicos (Commenil *et al.*, 1997).

La resistencia que ofrece la cutícula a los daños mecánicos, a la difusión de gases, a los cambios en permeabilidad al agua y la penetración de microorganismos, no dependen exclusivamente de su grosor, sino también de los cambios en la estructura epicuticular (Knoche *et al.*, 2004)



3.4 FISIOLÓGÍA Y TECNOLOGÍA POSTCOSECHA

La tasa de respiración y la producción de etileno que presenta la tuna en postcosecha es relativamente baja en comparación con otros frutos (Kader, 2005). En la tuna, la respiración depende entre otros factores de la variedad, igualmente Corrales *et al.* (2006) encontraron diferencias significativas en las tasas de respiración entre 20 variedades estudiadas. La producción de etileno es muy baja y es similar para frutos cosechados en diferentes etapas de maduración (Cantwell, 1991).

Las pérdidas de peso en postcosecha se deben principalmente a pérdidas de agua por transpiración. Si las pérdidas de peso llegaran a ser mayores del 5% el aspecto de los frutos se ve deteriorado por marchitez o arrugamiento, al grado de perder su valor comercial. Las pérdidas fisiológicas de peso en postcosecha dependen de varios factores, dentro de los cuales los más importantes son las condiciones de temperatura, humedad relativa y ventilación durante su almacenamiento, así como el estado de desarrollo del fruto al momento de la cosecha y la variedad (Corrales y Flores-Valdez, 2003). Al respecto, Corrales *et al.* (2006) estudiaron las características de diferentes variedades de tuna, encontrando que la mayoría perdió un 5% después de 10 d expuestas a temperatura ambiente (20 °C y 60-70% HR); sin embargo, también encontraron que hubo diferencias entre variedades.



La cáscara de tuna presenta los mismos tejidos que el cladodio, aunque en éste los conductos del mucílago están más desarrollados y la disposición de las células del córtex desde la epidermis hasta el tejido vascular se encuentra en hileras, mientras que en la cáscara presentan una disposición irregular y el pericarpelo presenta areolas que llevan gloquidias y espinas. En el ápice del fruto se presenta una concavidad receptacular, cuyo llenado en algunos casos sirve como un índice de cosecha (Corrales y Flores-Valdez, 2003).

El manejo postcosecha que se le da a la tuna es y ha sido desde el principio muy sencillo y poco tecnificado; sin embargo, el esquema productivo ha crecido y los sistemas de distribución y comercialización se han complicado, sobre todo para quienes tienen miras a la exportación, otros países como Italia, Estados Unidos y Chile entre los más sobresalientes, además de México, han desarrollado tecnológicamente este manejo (Corrales y Flores-Valdez, 2003).

3.5 PRINCIPALES FACTORES DE DETERIORO

Las causas de deterioro de la tuna pueden ser de origen biótico y abiótico, las primeras tienen que ver con el metabolismo del propio fruto, así como con el ataque de microorganismos y las segundas con el medio ambiente y el manejo que se le dé (Corrales y Flores Valdez, 2003). Aunque su actividad metabólica en términos de respiración es reducida, las tunas presentan un alto grado de perecibilidad, el cual se debe principalmente al daño ocasionado a la cáscara y

el sitio de la unión de la axila durante la cosecha (Corrales, 1992). Los tejidos de la tuna contienen mucha agua y cuando hay lesiones físicas en su epidermis o en la axila ocurren infecciones bacterianas o fungosas que con frecuencia se transforman rápidamente en pudriciones (Granata, 1995).

Cantwell (1991) estableció que los patógenos postcosecha comúnmente encontrados en la tuna incluyen a *Alternaria spp.*, *Fusarium spp.*, y *Penicillium spp.*

Otro factor de deterioro, es el de las bajas temperaturas de refrigeración, que pueden llegar a causar desordenes fisiológicos denominados daños por frío, los cuales en tuna, se manifiestan como pequeñas coloraciones oscuras superficiales oscuras y de un tono bronceado de la epidermis del fruto. La severidad de estos daños depende de algunos factores como la susceptibilidad de cada variedad, la temperatura, el tiempo de exposición y el nivel de humedad relativa durante el almacenamiento (Corrales y Flores-Valdez, 2003)

3.6 MANEJO POSTCOSECHA

3.6.1 Cosecha

La cosecha de la tuna se lleva a cabo manualmente. Para lo cual existen dos modalidades, un corte con giro o torsión del fruto y un corte con cuchillo. La



tuna se daña menos cuando se corta con cuchillo, debido al gran problema que presentan las gloquidias o ahuates para los cosechadores, los cuales usan guantes para facilitar la tarea, cuando no es así, se suele presentar compresión excesiva del fruto debido a que sólo se sostiene con la punta de dos dedos para realizar el corte, causando lesiones que se hacen más evidentes después de unos días en la partes comprimidas se pierde turgencia, y se hacen más sensibles a daños, estas marcas no se ven al momento sino hasta después de unos días. Después de la cosecha, los frutos se colocan en recipientes, para llevarlos a un sitio de acopio, nuevamente un manejo inadecuado y brusco ocasiona lesiones y daños al fruto (Corrales y Flores-Valdez, 2003).

3.6.2 Desespinado

Consiste en remover los ahuates del fruto, lo que resulta absolutamente necesario para poder comercializarlo. Esta operación se puede realizar de forma manual o mecánica, aunque es más recomendable realizarla de forma mecánica, ya que manualmente los daños causados son considerablemente mayores.

En el desespinado es normal que se rayen las tunas y se dañen en menor o mayor medida, dependiendo del método y cuidados que se tengan, demeritando la calidad del fruto y reduciendo el periodo de vida en anaquel (Corrales y Flores-Valdez, 2003).

3.6.3 Encerado

El encerado ha sido probado y aplicado en diversos frutos dando buenos resultados, pero en tuna no se aplica comercialmente.

El encerado consiste en aplicar una emulsión de cera a las tunas (después del desespinado) ya sea por inmersión o aspersión. Los recubrimientos con cera se han venido usando desde hace varios años, con el propósito de controlar la pérdida de agua por transpiración, disminuir la intensidad de los cambios propios de la maduración y/o senescencia, como la respiración y proporcionar un mejor aspecto visual a los frutos (mayor brillo). (Corrales y Flores-Valdez, 2003).

Se ha estudiado el efecto de diferentes ceras sobre la tuna, encontrando que son eficientes para controlar las pérdidas de peso y daños por frío. Sin embargo, no reducen la presencia de pudriciones (Corrales y Flores-Valdez, 2003).

3.6.4 Selección y empaque

La tuna se selecciona por calidad y tamaño, con el propósito de separar frutos con daños mecánicos, podridos o mal formados y para garantizar la uniformidad del producto. La finalidad la tuna es proporcionar al producto las condiciones adecuadas para que durante el transporte al mercado no se dañe,

facilitar su manipulación y darle una presentación atractiva que motive su compra y consumo (Corrales y Flores-Valdez, 2003).

La tuna se empaca en cajas de madera para el mercado nacional y en cajas de cartón para el mercado de exportación. Generalmente las cajas se sobrellenan con la idea de aprovechar el espacio al máximo y así manejar mayor cantidad de producto, sin embargo, al hacer esto se provocan serios daños por compresión y considerables mermas en el producto.

3.6.5 Almacenado

En tunas, como en la mayoría de las frutas, la refrigeración es un factor importante para reducir su deterioro, sin embargo, la frigoconservación de la tuna puede causar daños por frío, dependiendo de algunos factores como la temperatura, el tiempo de exposición y la variedad. Corrales *et al.* (1997) estudiaron las respuestas a la frigoconservación de seis variedades de tuna, encontrando diferencia significativa entre ellas; en este mismo estudio encontraron que la variedad "Copena" es más sensible al daño por frío, por otro lado las variedades "Burrona" y "Cristalina" presentaron las menores pérdidas de peso, tasas de respiración.



Los incrementos en la pérdida de peso cuando las tunas se remueven de las temperaturas de frigoconservación a condiciones no refrigeradas, se han relacionado con fracturas microscópicas en la cáscara, sobre las cuales ocurre el desarrollo de pudriciones durante su comercialización (Inglese *et al.*, 2002)

En cuanto a la frigoconservación de tuna en atmósferas controladas, se ha encontrado que efectivamente se logra una reducción significativa de daños por frío, además de que se logra mantener la calidad del producto (Corrales *et al.*, 1997; Inglese *et al.*, 2002)

El tratamiento con aire caliente húmedo por 24 h a 38 °C en la variedad “Gialla” reduce también los daños por frío, reduce la incidencia de pudriciones, conduce a una mejor apariencia externa y menor pérdida de peso (Schirra *et al.*, 1997).

El papel que juegan los tratamientos térmicos en el control de pudriciones se han relacionado con la inhibición de la germinación y el crecimiento de esporas, un retraso que puede permitirle a la fruta reconstruir sus mecanismos de resistencia en los puntos dañados y una estimulación de las respuestas de defensa, tales como la aceleración en el sanado de heridas, la inducción de las proteínas de choque térmico, liberación de compuestos antifúngicos, estabilización de membranas y cambios en la actividad enzimática (Lurie, 1998).



4. OBJETIVOS

- Definir a través de evidencias fotográficas, las diferencias en cuanto la estructura y acomodo de las ceras epicuticulares de seis variedades de tuna.
- Determinar si existe relación entre la microestructura epicuticular con la velocidad de deterioro, respiración y pérdida de peso en seis variedades de tuna.
- Describir el efecto de diferentes condiciones de exposición a calor húmedo, tanto en la microestructura de las ceras epicuticulares como en la velocidad de deterioro y pérdida de peso, en cada una de las seis variedades de tuna.



5. HIPÓTESIS

- La estructura y acomodo de las ceras epicuticulares se presenta de manera diferente dependiendo de la variedad de tuna.
- La diferencia en la velocidad de deterioro y pérdida de peso entre variedades de tuna, se debe a un diferente arreglo de la microestructura epicuticular entre otras cosas.
- Con la aplicación de calor húmedo se logra que la estructura de las ceras epicuticulares se reacomode, induciendo una mejor reordenamiento de éstas en la cáscara de la tuna, consecuentemente se incrementa la eficiencia como barrera protectora y por lo tanto se reduce la pérdida de peso y se logra una mayor vida postcosecha.



6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 OBTENCIÓN DE MATERIAL VEGETAL

El material vegetal se obtuvo del banco de germoplasma de la Universidad Autónoma Chapingo, ubicado en la nopalera experimental "Dr. Facundo Barrientos Pérez".

Se evaluaron seis variedades de tuna tomando en cuenta 3 variedades ("Alfajayucan", "Amarillo Milpa Alta" y "Sangre de Toro") que de manera natural presentan altas pérdidas de peso por transpiración en postcosecha, así como otras 3 variedades ("Rojo Pelón", "Cristalina" y "Rojo 3589") que en forma natural presentan bajas pérdidas de peso de acuerdo a la caracterización hecha por Corrales *et al.* (2006).

La cosecha de los frutos se realizó tomando en cuenta el estado de madurez, es decir, frutos con la cavidad floral aplanada y con el tamaño típico comercial de cada variedad. Se seleccionaron para el corte frutos de tuna que presentaron las mejores características posibles de la cáscara para poder

facilitar la determinación del arreglo original de las ceras; además, se realizó un desespinado manual a fin de semejar condiciones normales de comercialización, dejando un fruto testigo con tres repeticiones de cada variedad sin desespinar. El desespinado manual se realizó frotando cada fruto con un paño seco hasta la eliminación total de ahuates.

6.2 TRATAMIENTOS CON CALOR HÚMEDO

Los frutos fueron expuestos a calor húmedo (aire caliente saturado de humedad) a diferentes condiciones de temperatura y tiempo de exposición.

Para la exposición del fruto al calor y condiciones de saturación de humedad, se utilizó un dispositivo generador de vapor con regulación de temperatura, en este caso se adaptó un germinador "Burrows Equipment" modelo 1000A, con un rango de temperatura regulable entre 20 a 45 °C. El cual se encuentra en el laboratorio de análisis de alimentos del Departamento de Ingeniería Agroindustrial de la UACH.

Se aplicó el tratamiento de calor húmedo a diferentes niveles de temperatura y diferentes tiempos de exposición en todas las muestras dejando un testigo intacto (con espinas) y otro desespinado para cada variedad. Los niveles de temperatura fueron 35, 38 y 42 °C $\pm 1^{\circ}\text{C}$, mientras que el tiempo de exposición fue de 12 y 24 h. De cada variedad se cortaron 72 frutos que fueron

agrupados en tres lotes de 24 frutos cada uno aleatoriamente. Los frutos de cada lote fueron separados en 8 grupos de 3 frutos cada uno, para la asignación aleatoria de 8 tratamientos: testigo intacto, testigo desespinado, 35°C por 12 h, 35°C por 24 h, 38°C por 12 h, 38°C por 24 h, 42°C por 12 h y 42°C por 24 h. Los frutos del primer lote fueron analizados al término de cada tratamiento, los frutos de otro lote fueron almacenados por 15 d a temperatura ambiente ($\pm 22^{\circ}\text{C}$) y los frutos del tercer lote fueron almacenados por 30 d a 10°C .

Las variables medidas fueron:

Estructura morfoanatómica de la cáscara

- Análisis de capas de cera epicuticular.
- Grosor de cutícula (μm).

Comportamiento fisiológico del fruto:

- Pérdida de peso (%).
- Respiración ($\text{mLCO}_2\text{kg}^{-1}\text{h}^{-1}$)

Parámetros de calidad del fruto:

- Apariencia externa.
- Presencia de enfermedades fungosas.



6.3 ESTRUCTURA MORFOANATÓMICA DE LAS CÁSCARA

El análisis de las capas de cera epicuticular se determinó en tunas intactas, desespínadas, antes (testigo) y después de cada tratamiento con calor húmedo, para lo cual se obtuvieron 3 muestras de cáscara por fruto de cada variedad.

Los frutos fueron colocados horizontalmente sobre un soporte de madera y fueron cortados con un cuchillo en tres porciones de tamaño similar. Sin doblar y utilizando un bisturí, se obtuvo un segmento cuadrícular de cáscara de aproximadamente 2x2cm de tal manera que no se provocara ningún doblez de la cáscara para garantizar su integridad.

De cada repetición, es decir, de frutos intactos, desespínados, antes (testigo) y después de cada tratamiento, se obtuvieron dos muestras, una para el estudio morfoanatómico (microestructura epicuticular) y otra para su estudio anatómico (grosor de cutícula).

6.3.1 Análisis de las capas de cera epicuticular

Primero las muestras se congelaron en nitrógeno líquido para su posterior liofilización, estas muestras ya liofilizadas se fraccionaron en porciones más pequeñas de aproximadamente 3x3 mm, después se montaron en una base con un adhesivo doble faz para metalizarlas con oro y observar la superficie de

la cáscara en el microscopio electrónico de barrido marca "Hitachi mod. S 2460 N", localizado en el Instituto de Biología de la UNAM.

El análisis se basó en una evaluación visual de la superficie epicuticular. Se examinaron y fotografiaron a dos campos de aumento de 125x y 600x de la superficie en cada evaluación. Se hicieron un total de 48 fotografías por cada variedad. Se evaluó la morfología de la superficie cuticular, la forma y el arreglo de los cristales de las ceras con base en la clasificación de Barthlott *et al.* (1998).

6.3.2 Grosor de cutícula

Primeramente las muestras se colocaron en una mezcla fijadora de formaldehído-acido acético-alcohol por 24 h, al cabo de lo cual se inició la técnica de inclusión en parafina (Ruzin, 1999), después se realizaron cortes transversales con un micrótopo rotatorio a un grosor de 15 μm , posteriormente estos cortes se tiñeron con "safranina-verde rápido", se montaron en resina sintética y se observaron en un microscopio óptico para medir el grosor de la cutícula con un analizador de imágenes "Image Pro-Plus[®] V 3.1", los resultados se expresaron en μm .



6.4 COMPORTAMIENTO FISIOLÓGICO

6.4.1 Pérdida fisiológica de peso

La pérdida de peso, se evaluó en cada unidad experimental, con una balanza granataria marca "Adam Equipment" modelo "ADP 2100L" con una precisión de ± 10 mg, cada 3 d para los frutos almacenados durante 15 d a temperatura ambiente y cada 5 d para los almacenados por 30 d a 10°C.

Para el cálculo del porcentaje se usó la siguiente ecuación: $PP (\%) = [(Pi - Pf) / Pi] \times 100$. Donde: %PP = % de pérdida de peso, Pi = Peso inicial del fruto en gramos, Pf = Peso del fruto en gramos, al periodo indicado.

6.4.2 Patrón de respiración

El patrón de respiración para cada tratamiento, se obtuvo tomando registros cada 3 d (durante el periodo de evaluación) de la tasa de respiración de las muestras. Con base el método colorimétrico de Claypool y Keefer (1942) modificado por Pratt y Mendoza (1979).

El método consiste en mantener un flujo constante y conocido (en este caso de 7.4 Lh^{-1}) de aire sobre el recipiente que contiene los frutos, arrastrando con ello el CO_2 desprendido hacia un celda de colorímetro que contiene una

solución de azul de bromotimol y bicarbonato de sodio (para conservación de la solución), y posteriormente solución y flujo de aire entran en equilibrio con el CO₂; como resultado ocurre un cambio de pH en la solución de colorante y este cambio es determinado en términos de transmitancia a 615 nm, en un espectrofotómetro "Espectronic 20D".

Los registros de transmitancia se transformaron a concentración de CO₂ mediante la ecuación:

$$\text{Log } \% \text{ CO}_2 = -4.01037 + [0.141937 (T)] + [-0.00173 (T^2)] + [8.24^{-6}(T^3)]$$

Esta fórmula es derivada de una curva estándar de CO₂ previamente determinada. Para el cálculo de la tasa de respiración el dato de concentración de CO₂ se substituyó en la siguiente fórmula:

$$\text{mL CO}_2 \text{kg}^{-1} \text{h}^{-1} = (\% \text{CO}_2 \times 100 \times \text{Flujo de aire} / \text{Peso de fruto})$$

Donde el flujo del aire se expresa en mL h⁻¹ y el peso del fruto en kg.

6.4.3 Parámetros de calidad

La apariencia externa y la presencia de enfermedades fungosas se evaluaron con escalas hedónicas con tres repeticiones cada tres días, con los siguientes valores y categorías de acuerdo a las propuestas por Schirra *et al.* (1999) y se obtuvo un promedio al final de los periodos de almacenamiento.

Para apariencia externa: 9= excelente, 7= buena, 5= aceptable, 3=pobre.

Para presencia de enfermedades fungosas: 1=sin presencia, 2=señal de presencia, 3= leve presencia, 4=moderada presencia y 5= daño severo. La señal de presencia se caracterizó por la aparición de 2 a 3 manchas pequeñas moteadas; la categoría leve presencia se reconoció por estas mismas manchas por mayor número y tamaño sin exceder un 20% de la superficie del fruto; la presencia moderada hasta un 50% y daño severo más del 50%.

6.5 ANÁLISIS DE DATOS

El análisis del efecto del tratamiento (análisis de varianza y comparación de medias con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$)), en las variables de respuesta, se hizo de acuerdo a un diseño completamente al azar para cada variedad. Las variables, apariencia externa y presencia de enfermedades dado que los valores obtenidos se inclinan a los extremos de las escalas se analizaron con una transformación a rangos para normalizar su distribución, posteriormente se hizo una comparación de medias con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Para todos los análisis se hicieron tres repeticiones, y se analizaron con apoyo del software estadístico SAS (Statistical Analysis System, versión 8, 2001).



7.RESULTADOS

7.1 ESTRUCTURA EPICUTICULAR

En los frutos intactos y desespinaados de las seis variedades, se observó una capa epicuticular rota o fragmentada (figuras 1, 2, 9, 10, 17, 18, 25, 26, 33, 34, 41 y 42). Estas características se consideran normales ya que de acuerdo con Bartholtt *et al.* (1998), si bien los frutos aun pequeños muestran capa completamente lisa, cuando estos crecen la superficie epidermal se extiende con la consecuente ruptura de la capa de cera epicuticular. Resultados similares fueron observados por Schirra *et al.* (1997, 1999) en frutos de tuna de la variedad "Gialla".

7.1.1 Efecto de los tratamientos

Se observó una modificación en la estructura de las capas de cera epicuticular en tunas tratadas con calor húmedo, en algunos tratamientos se obtuvieron capas más homogéneas o lisas. Este tipo de capas se relaciona directamente con una menor pérdida de peso, mejor apariencia, menos pudriciones y de manera general una mayor vida de anaquel, ya que como se

Menciona anteriormente las ceras agrietadas que naturalmente presenta la tuna al momento del corte son susceptibles a la entrada de microorganismos y salida de humedad que se refleja una mayor pérdida de peso.

Entre las variedades se encontraron diferencias en cuanto a las respuestas a los tratamientos y la estructura de las capas cerosas, esto se relaciona a las características de cada variedad.

En la variedad "Alfajayucan" la exposición a 38°C por 12 ó 24 h causó el "alisado" o una reorganización más notable que con los otros tratamientos (Figuras 5 y 6). Estos tratamientos coinciden con los mejores calificados en apariencia, reducción de la pérdida de peso y presencia de pudriciones como más adelante se presenta.

En la variedad "Amarillo Milpa Alta" la exposición a 35°C (Figuras 11 y 12) y 42°C (Figuras 15 y 16) por 12 ó 24 h causaron un mejor reordenamiento y alisado de capas; sin embargo, sólo la exposición de 35°C representó beneficios para esta variedad como son menor pérdida de peso, menor presencia de pudriciones y una mejor apariencia después de los periodos de evaluación. Estos beneficios no se observaron a 42°C, debido probablemente a que esta temperatura se causó un daño metabólico severo.

Para la variedad "Cristalina" aparentemente la exposición a 35 y 38°C por 24 h (figuras 20 y 21 respectivamente) causaron una mayor homogeneidad de las ceras, nuevamente los tratamientos a 42°C presentaron un alisado e inclusive mayor que los tratamientos antes mencionados pero que no se relacionan con ningún en términos de pérdida de peso, mejor apariencia o menor presencia de pudriciones, probablemente debido a la misma razón comentada anteriormente para la variedad "Amarillo Milpa Alta". Es notorio que, al parecer esta variedad las ceras que presenta necesitan un mayor tiempo para el derretimiento de sus ceras, ya que los mejores resultados se lograron con el mayor periodo de exposición.

En la variedad "Rojo 3589" la exposición a 35 y 38°C por 12 y 24 h (Figuras 27, 28, 29 y 30) causaron el mejor arreglo o alisado, esto concuerda con una reducción significativa de pérdida de peso como más adelante se indica.

Para la variedad "Rojo Pelón" la exposición a 38°C y 42°C causaron un mayor alisado. Sin embargo, con 38°C por 12h (Figura 37) se obtuvo mejor homogenizado.

En la variedad "Sangre de Toro" la exposición a 35 y 38°C por 12 y 24 h (Figuras 43, 44, 45 y 46) causaron el mejor alisamiento.



Schirra (1997) y Kader (2005) con base en estudios del primero, sugieren de manera general sin especificar variedad una exposición a 38°C por 24 h para minimizar los daños por frío y prolongar la vida postcosecha del fruto de tuna. Sin embargo, con los resultados del presente trabajo se ofrece evidencia que no es así para todas las variedades y que cada una de ellas presenta respuestas diferentes.

Cabría mencionar que Wiedermann y Neinhuis (1998) señalan que las ceras epicuticulares se acumulan durante el crecimiento de los frutos como laminillas aplanadas, que se hacen duras y quebradizas, y en la maduración se rompen y forman agregados que aunque muy pequeños, provocan que disminuya la función de esta estructura como barrera protectora. En este sentido, la aplicación de calor húmedo causa una ligera fundición de las ceras apenas suficiente para causar su aplanamiento y un mejor reacomodo. Esta capacidad y el contenido de ceras han sido relacionadas con la regulación de la pérdida de agua en forma de vapor y se han demostrado diferencias entre especies. Por ejemplo, Knoche *et al.* (2004) correlacionan las fracturas en la cutícula con la pérdida de humedad y desorden fisiológico en frutos de cereza. Commenil *et al.* (1997) también relacionan el número de grietas formadas durante la maduración con la susceptibilidad de la vid a *Botrytis cinérea*. También en mango se han encontrado relaciones similares (Petit *et al.* 2007).

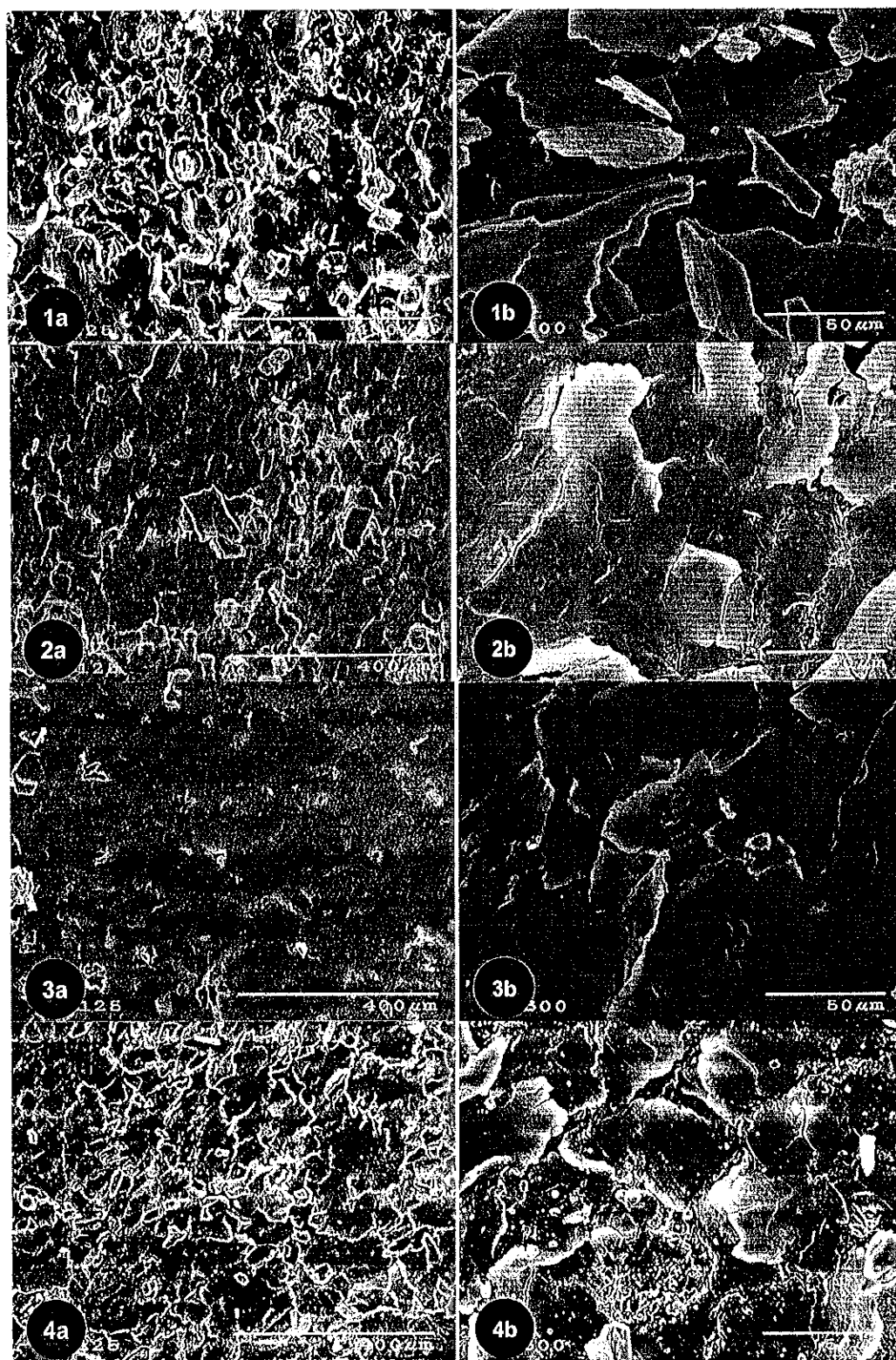


Figura 1-4. Microfotografías de las ceras epicuticulares de la variedad "Alfajayucan". Fig 1. Testigo con espinas. Fig 2. Testigo desespinado. Fig 3. 35°C por 12 h. Fig 4. 35°C por 24 h. Escala de la barra: a=400μm, b=50μm

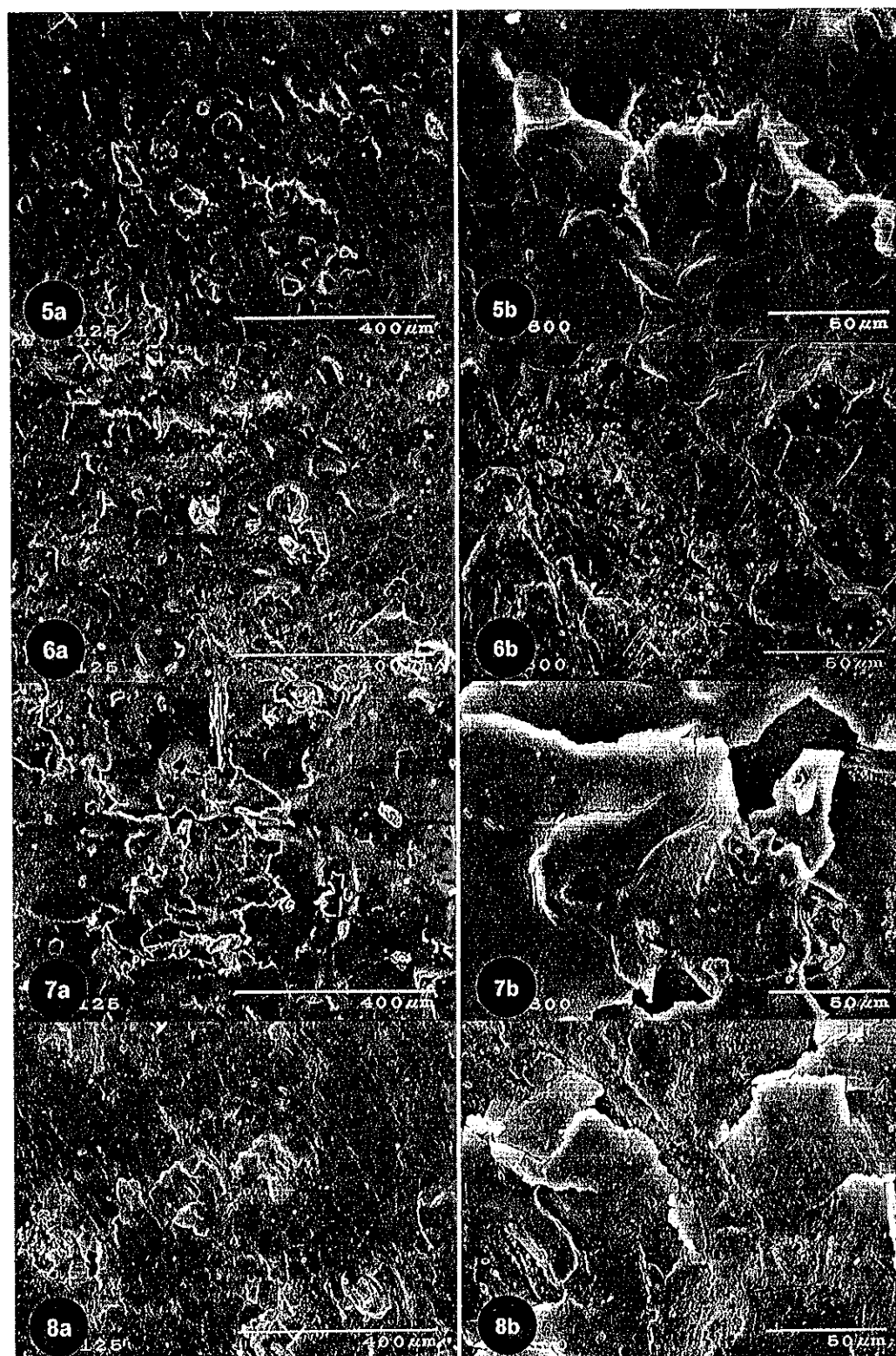


Figura 5-8. Microfotografías de las ceras epicuticulares de la variedad "Alfajayucan". Fig 5. 38°C por 12 h. Fig 6. 38°C por 24 h. Fig 7. 42°C por 12 h. Fig 8. 42°C por 24 h. Escala de la barra: a=400μm, b=50μm

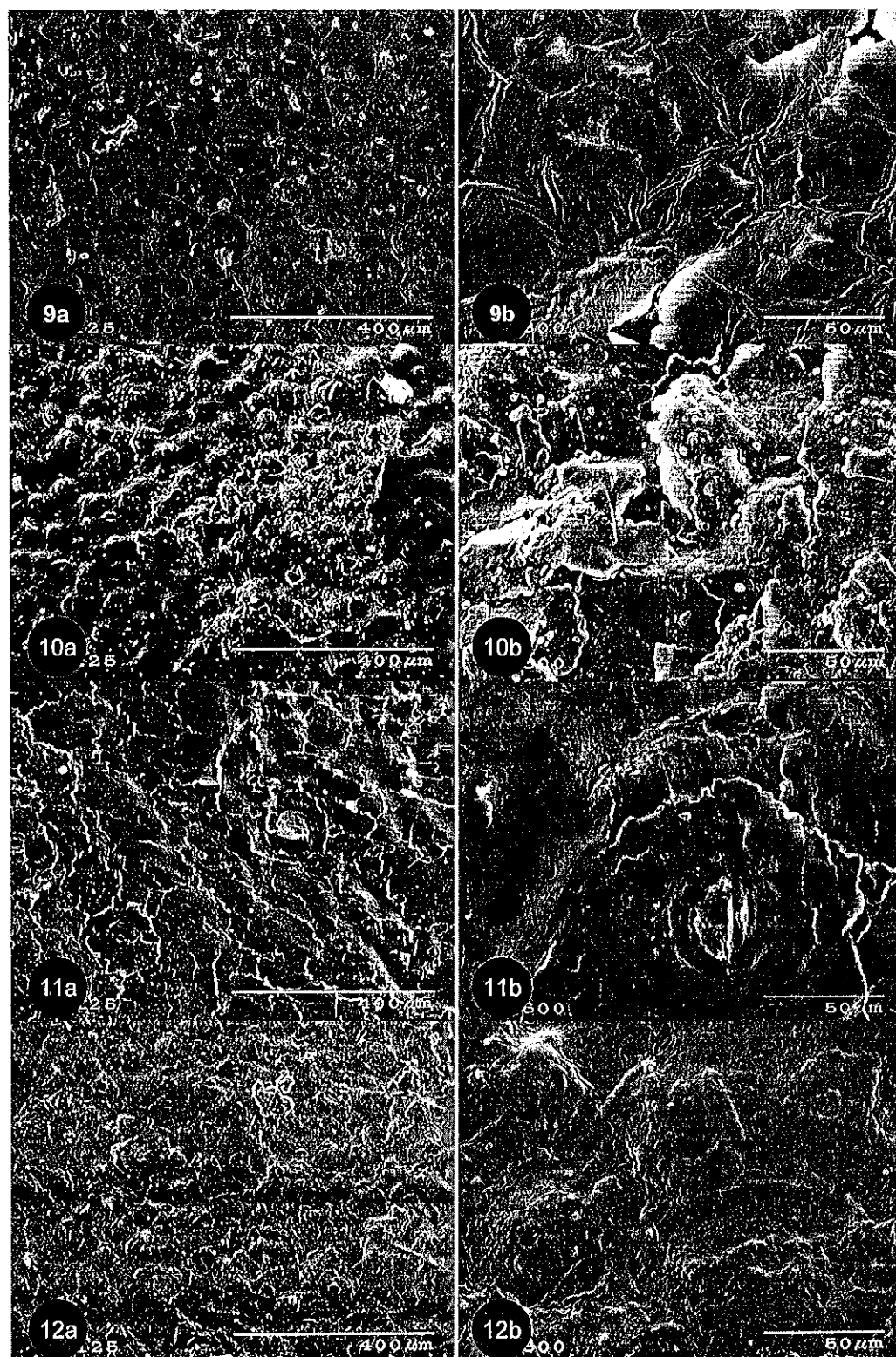


Figura 9-12. Microfotografías de las ceras epicuticulares de la variedad "Amarillo Milpa Alta". Fig 9. Testigo con espinas. Fig 10. Testigo desespinado. Fig 11. 35°C por 12 h. Fig 12. 35°C por 24 h. Escala de la barra: a=400μm, b=50μm



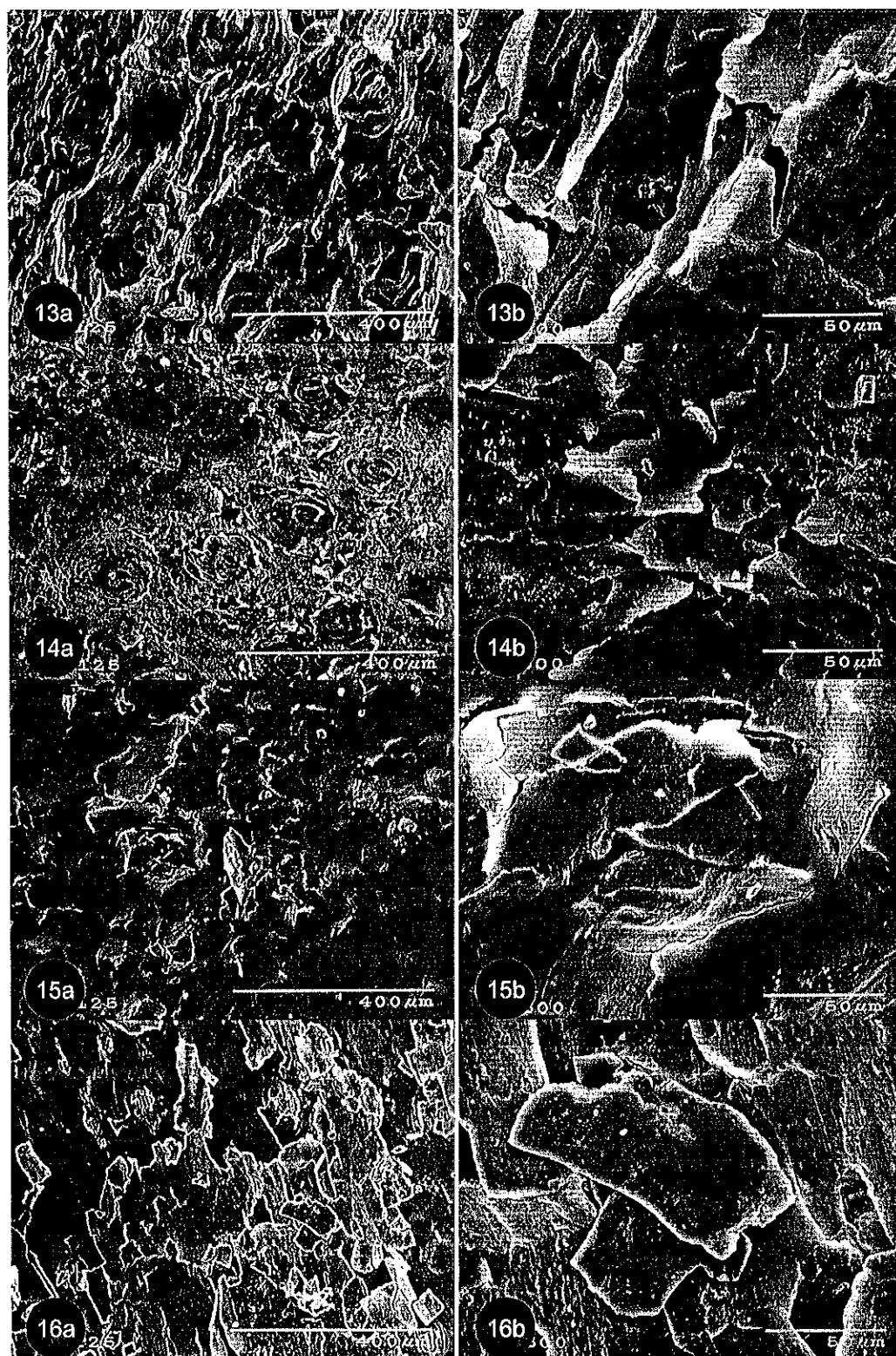


Figura 13-16. Microfotografías de las ceras epicuticulares de la variedad "Amarillo Milpa Alta". Fig 13. 38°C por 12 h. Fig 14. 38°C por 24 h. Fig 15. 42°C por 12 h. Fig 16. 42°C por 24 h. Escala de la barra: a=400μm, b=50μm



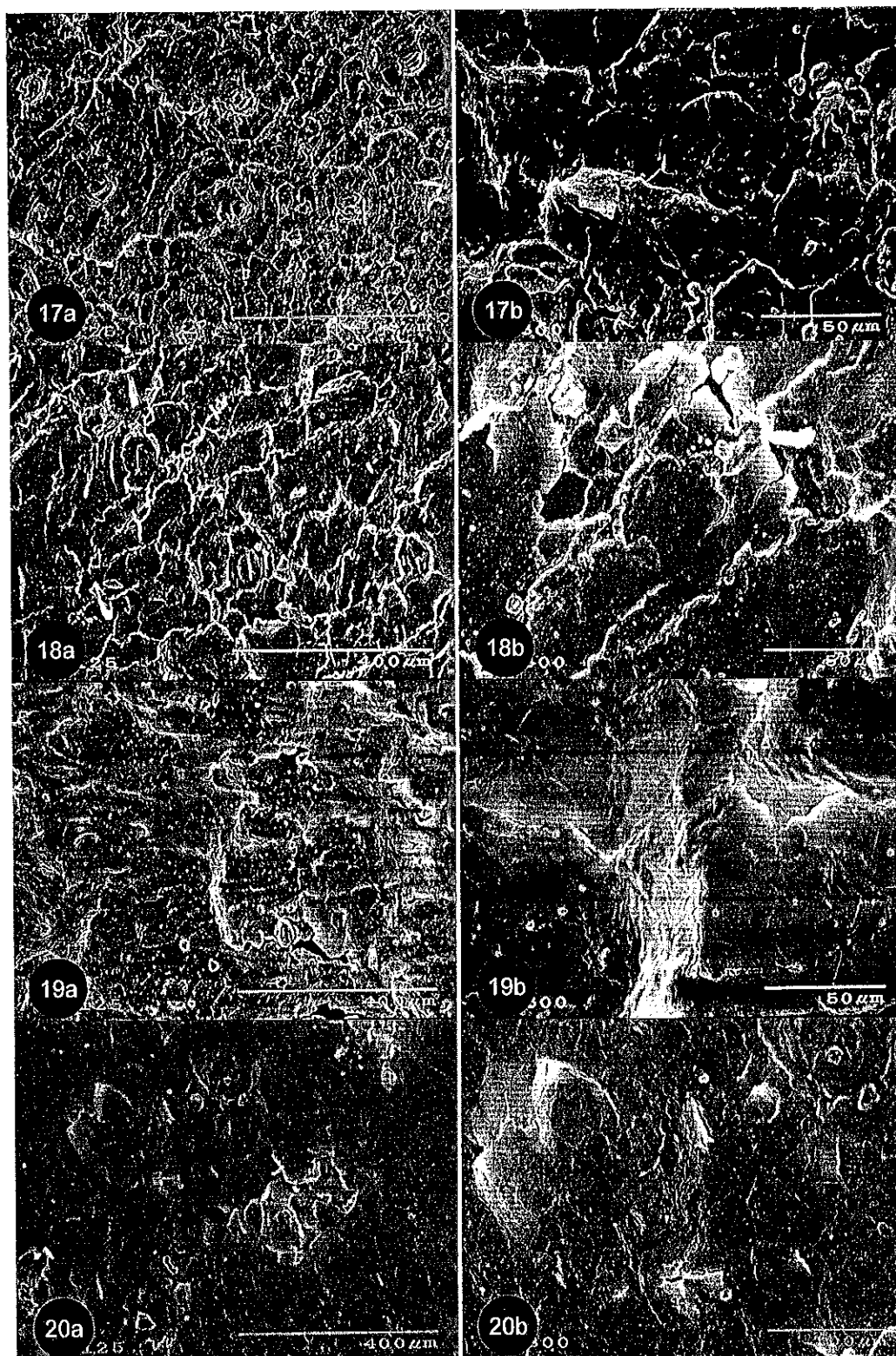


Figura 17-20. Microfotografías de las ceras epicuticulares de la variedad "Cristalina". Fig 17. Testigo con espinas. Fig 18. Testigo desespinado. Fig 19. 35°C por 12 h. Fig 20. 35°C por 24 h. Escala de la barra: a=400μm, b=50μm





Figura 21-24. Microfotografías de las ceras epicuticulares de la variedad "Cristalina". Fig 21. 38°C por 12 h. Fig 22. 38°C por 24 h. Fig 23. 42°C por 12 h. Fig 24. 42°C por 24 h. Escala de la barra: a=400μm, b=50μm



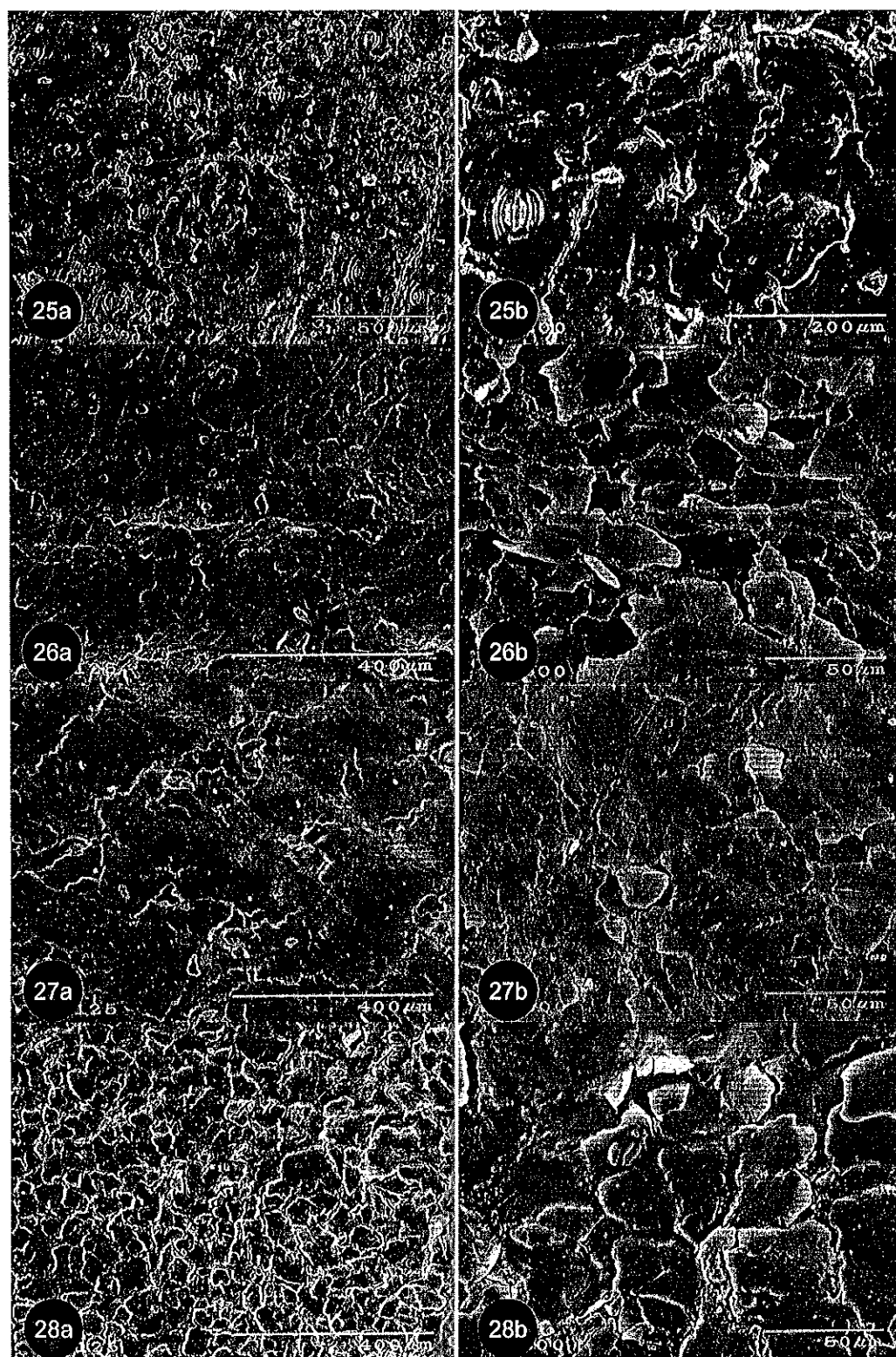


Figura 25-28. Microfotografías de las ceras epicuticulares de la variedad “Rojo 3589”. Fig 25. Testigo con espinas. Fig 26. Testigo desespinado. Fig 27. 35°C por 12 h. Fig 28. 35°C por 24 h. Escala de la barra: a=400μm, b=50μm



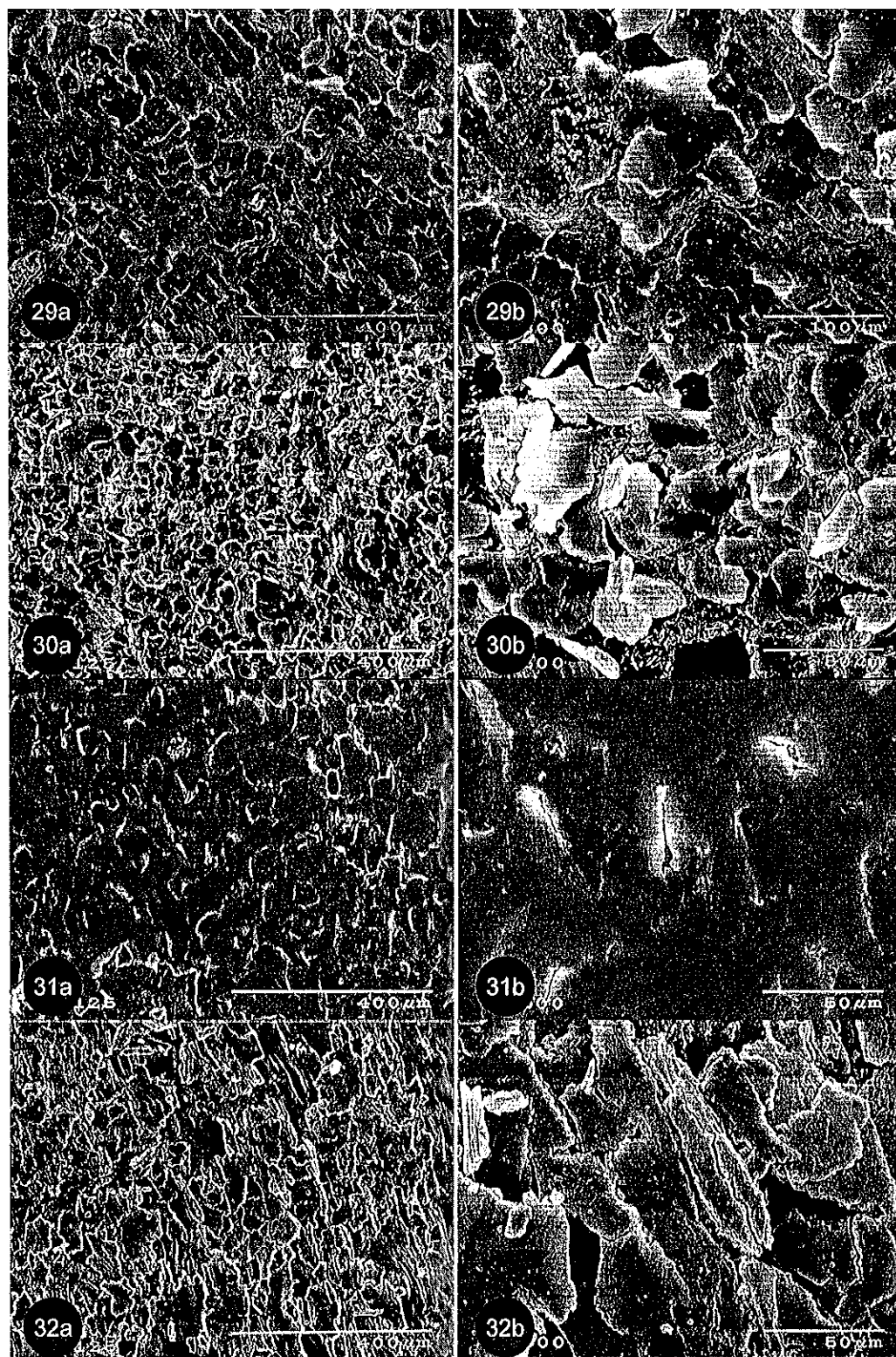


Figura 29-32. Microfotografías de las ceras epicuticulares de la variedad "Rojo 3589". Fig 29. 38°C por 12 h. Fig 30. 38°C por 24 h. Fig 31. 42°C por 12 h. Fig 32. 42°C por 24 h. Escala de la barra: a=400μm, b=50μm

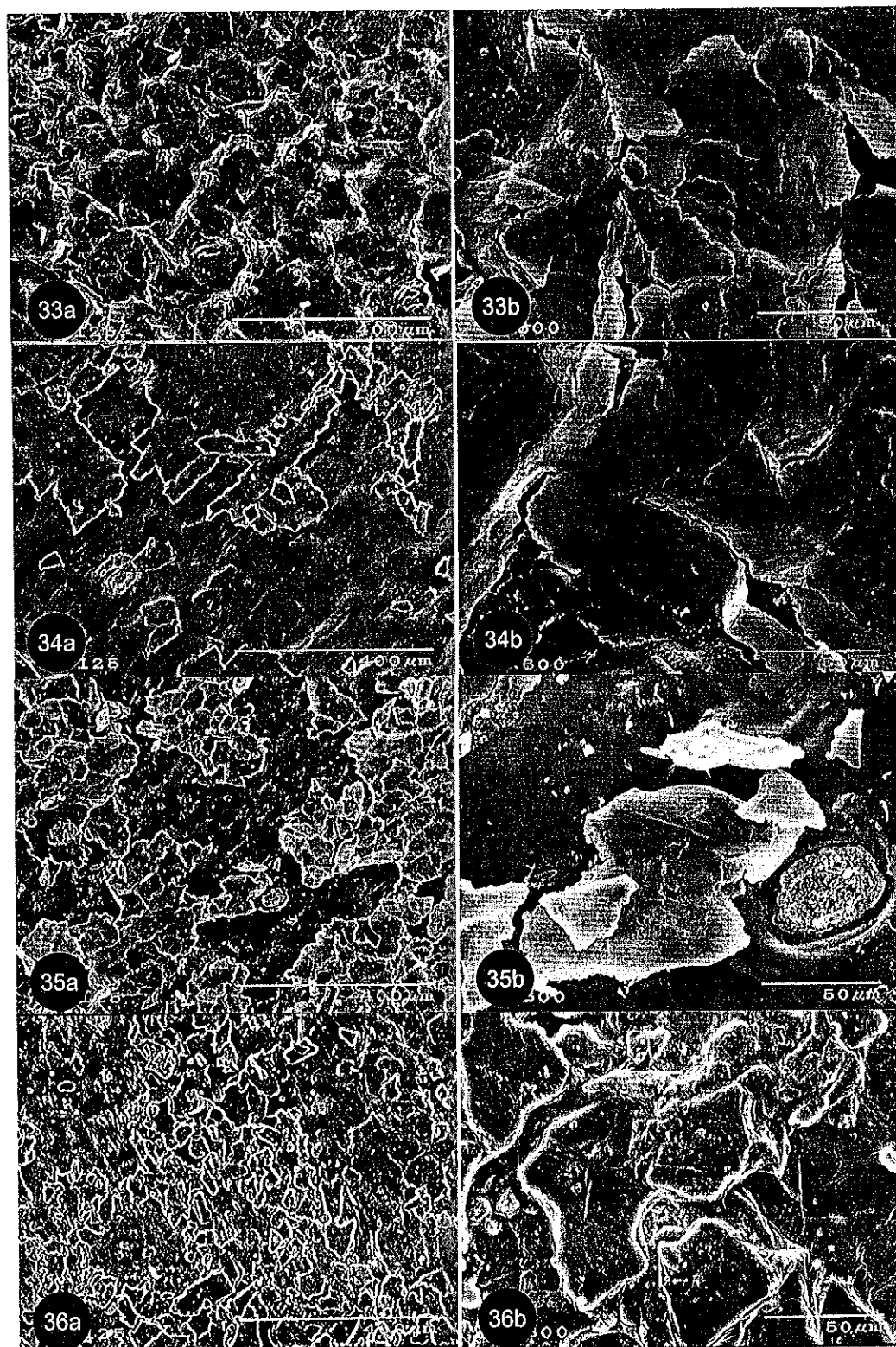


Figura 33-36. Microfotografías de las ceras epicuticulares de la variedad "Rojo Pelón". Fig 33. Testigo con espinas. Fig 34. Testigo desespinado. Fig 35. 35°C por 12 h. Fig 36. 35°C por 24 h. Escala de la barra: a=400μm, b=50μm

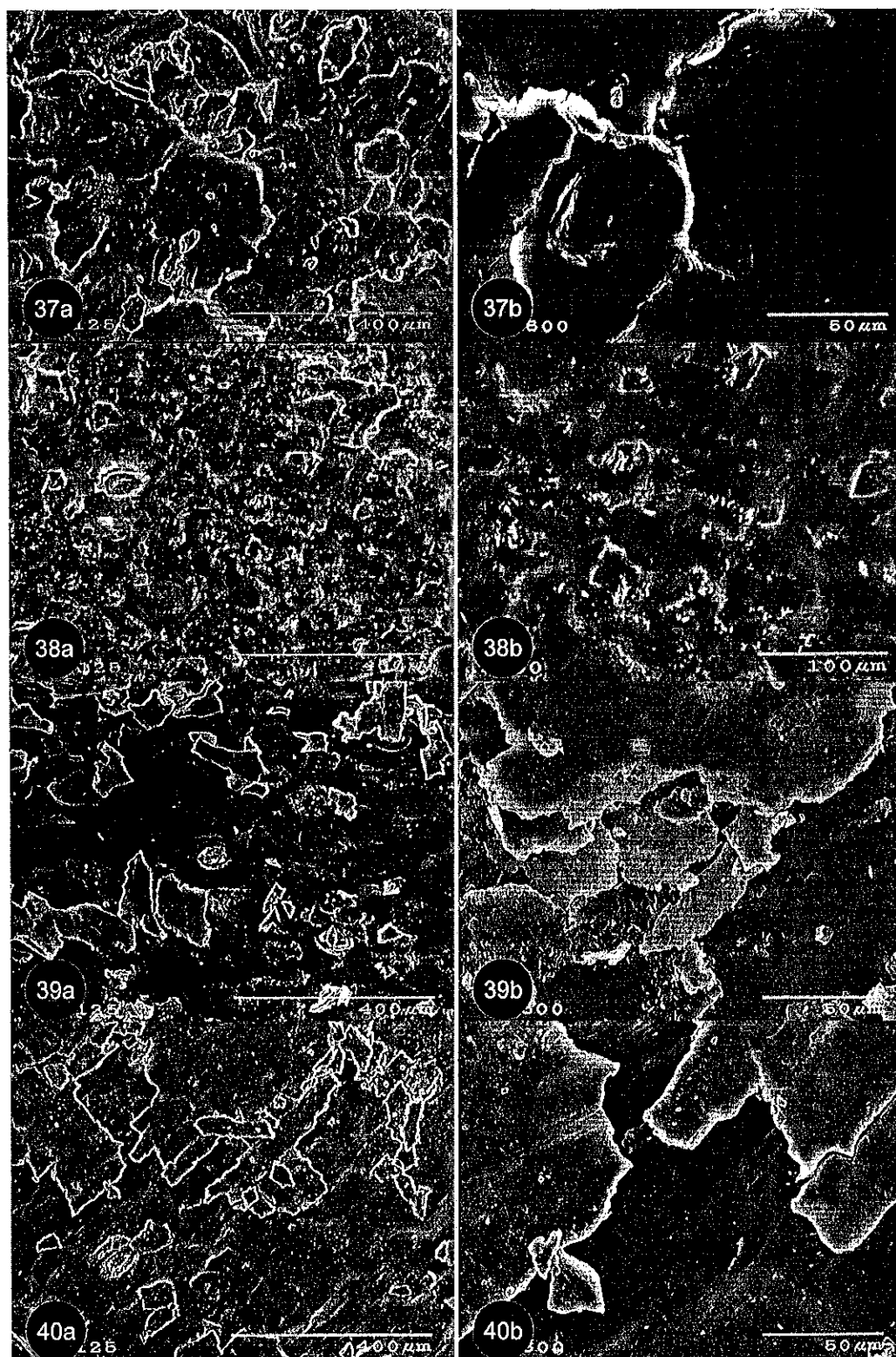


Figura 37-40. Microfotografías de las ceras epicuticulares de la variedad "Rojo Pelón". Fig 37. 38°C por 12 h. Fig 38. 38°C por 24 h. Fig 39. 42°C por 12 h. Fig 40. 42°C por 24 h. Escala de la barra: a=400μm, b=50μm

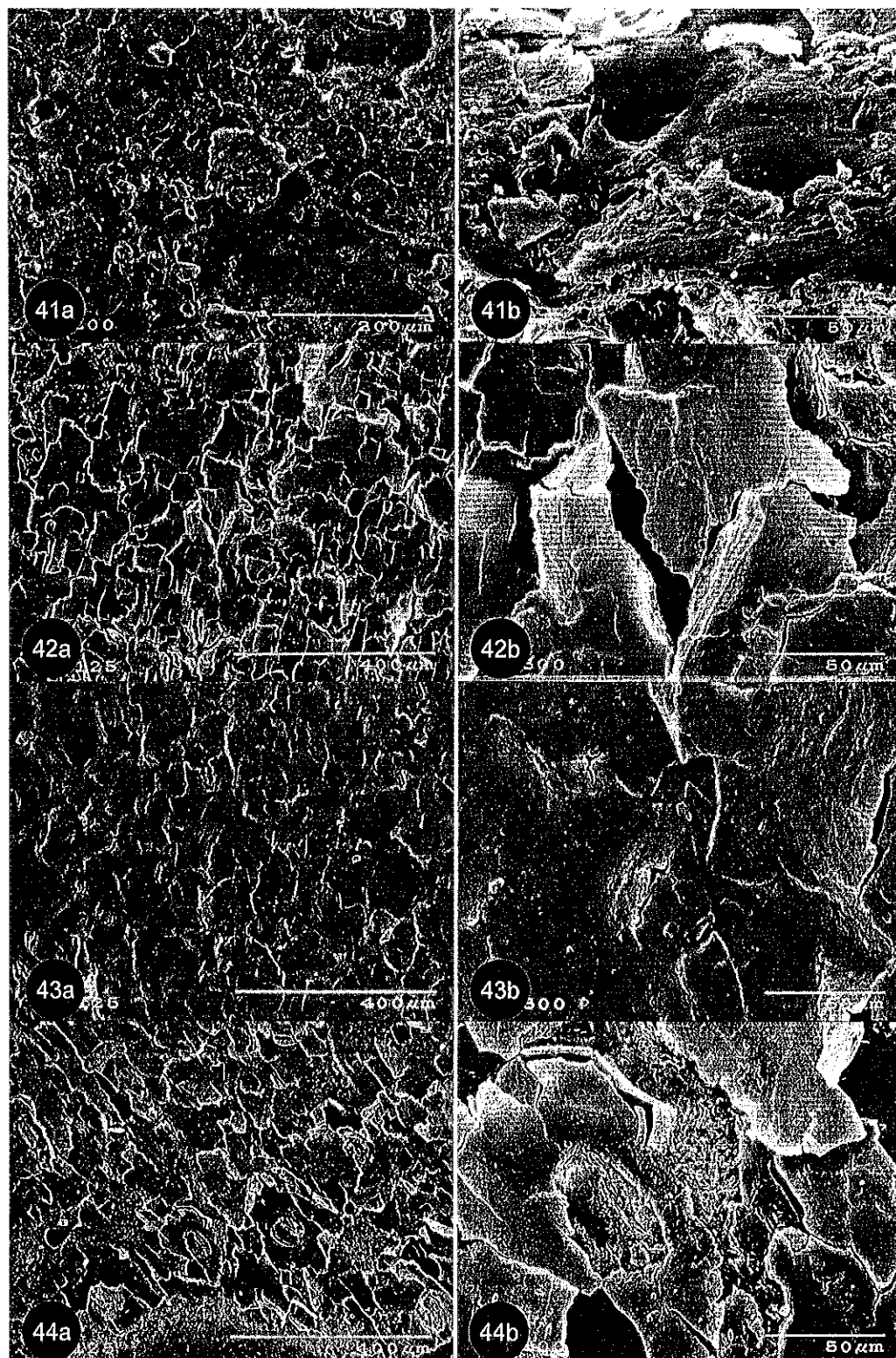


Figura 41-44. Microfotografías de las ceras epicuticulares de la variedad "Sangre de Toro". Fig 41. Testigo con espinas. Fig 42. Testigo desespinado. Fig 43. 35°C por 12 h. Fig 44 35°C por 24 h. Escala de la barra: a=400μm, b=50μm

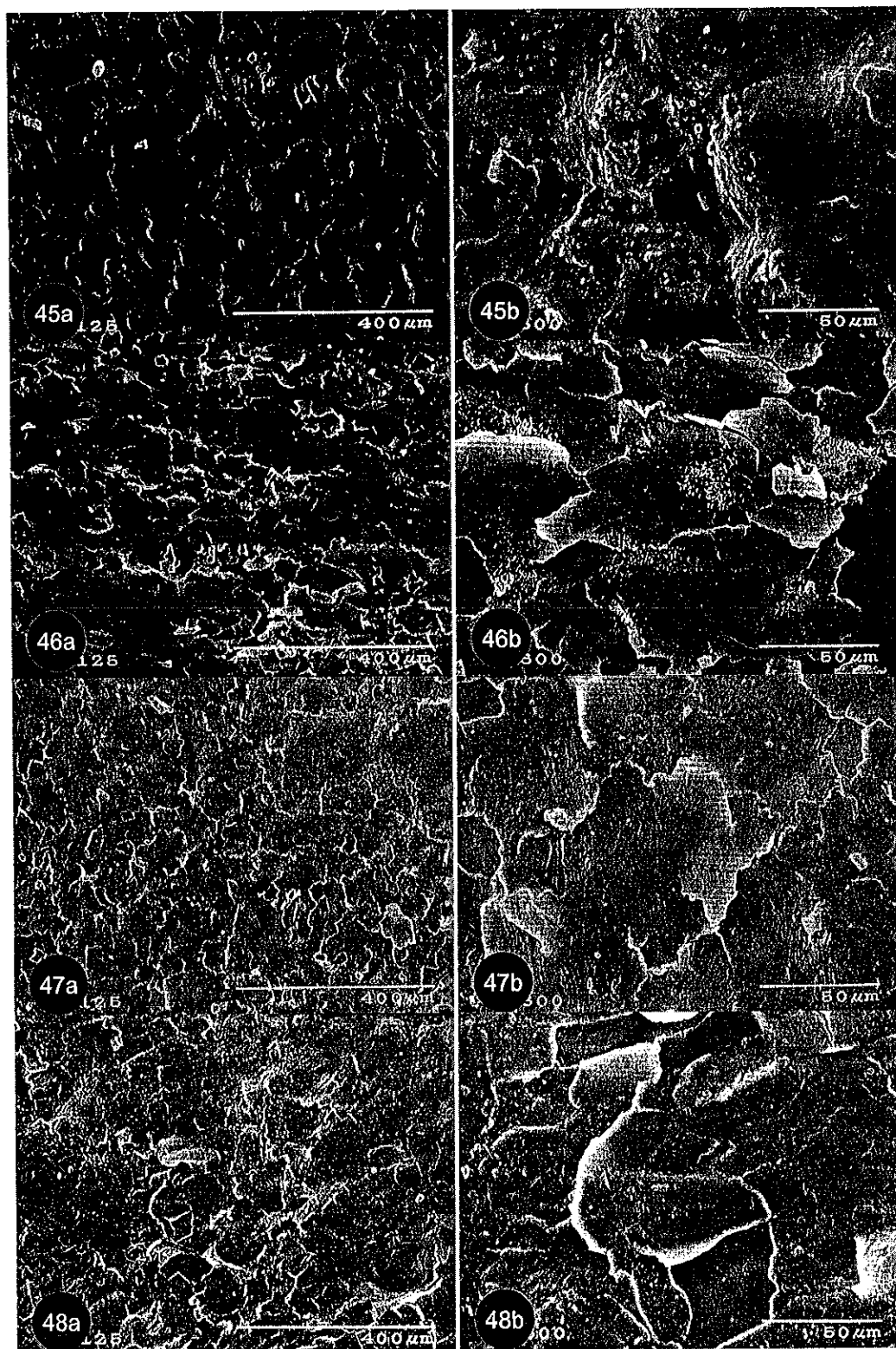


Figura 45-48. Microfotografías de las ceras epicuticulares de la variedad "Sangre de Toro". Fig 45. 38°C por 12 h. Fig 46. 38°C por 24 h. Fig 47. 42°C por 12 h. Fig 48. 42°C por 24 h. Escala de la barra: a=400μm, b=50μm



7.2 PÉRDIDA DE PESO

Los resultados mostraron diferencias significativas entre las seis variedades estudiadas en cuanto a pérdida de peso. Después de un almacenamiento por 15 d a temperatura ambiente las tunas testigo intactas de las variedades estudiadas presentaron diferentes pérdida de peso. El menor porcentaje de pérdida de peso lo presentó la variedad “Rojo Pelón” seguida de “Cristalina”, ambas por debajo del 5%; porcentaje que se ha considerado como el umbral comercial aceptable (Corrales y Flores-Valdez, 2003). Por otro lado destacaron “Alfajayucan” y “Amarillo Milpa Alta” por presentar pérdidas de peso superiores al 8% (Figura 49).

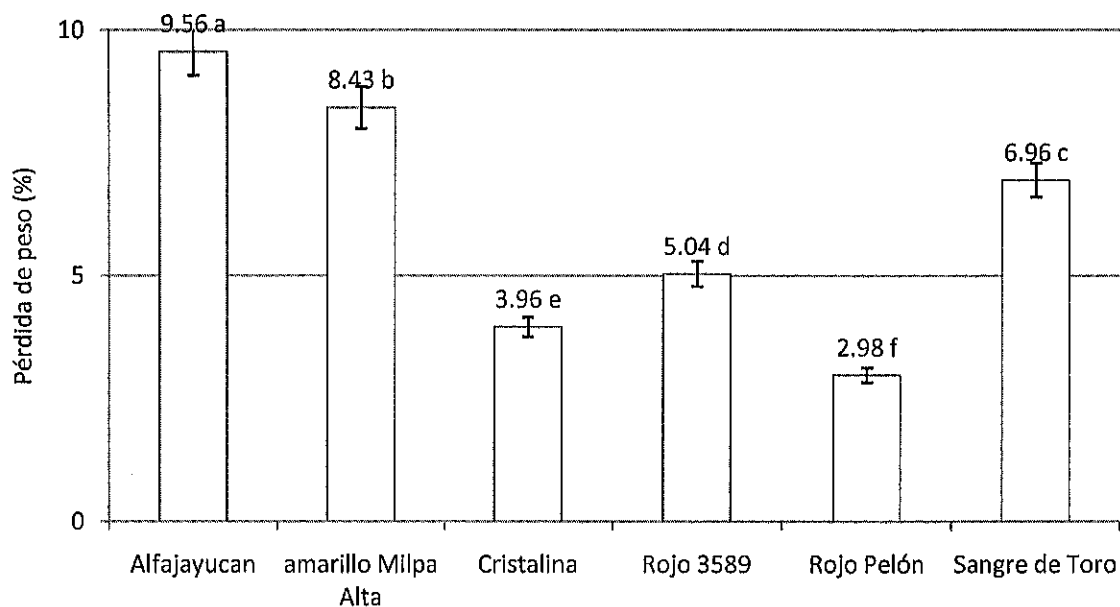


Figura 49. Pérdida de peso (%) de seis variedades de frutos de tuna intactas después de un almacenamiento por 15 d a temperatura ambiente.

La refrigeración redujo la pérdida de peso aún en un periodo más prolongado, así se tiene que después de 30 d a 10°C ninguna de las variedades rebasó el umbral del 5% y fueron “Amarillo Milpa Alta”, “Rojo 3589” y “Sangre de Toro” las que mayor pérdida presentaron en un rango de 2.6 a 2.9% sin diferencias significativas. Las variedades con menor pérdida fueron “Alfajayucan” y “Cristalina” en un rango de 1.3-1.4% (Figura 50).

Estos resultados indicaron que “Cristalina” con y sin refrigeración presenta la menor pérdida de peso lo que coincide con lo encontrado por Corrales *et al.* (1997), quienes mencionan que esta variedad se caracteriza por ser de las variedades que menos pérdida de peso presentan.

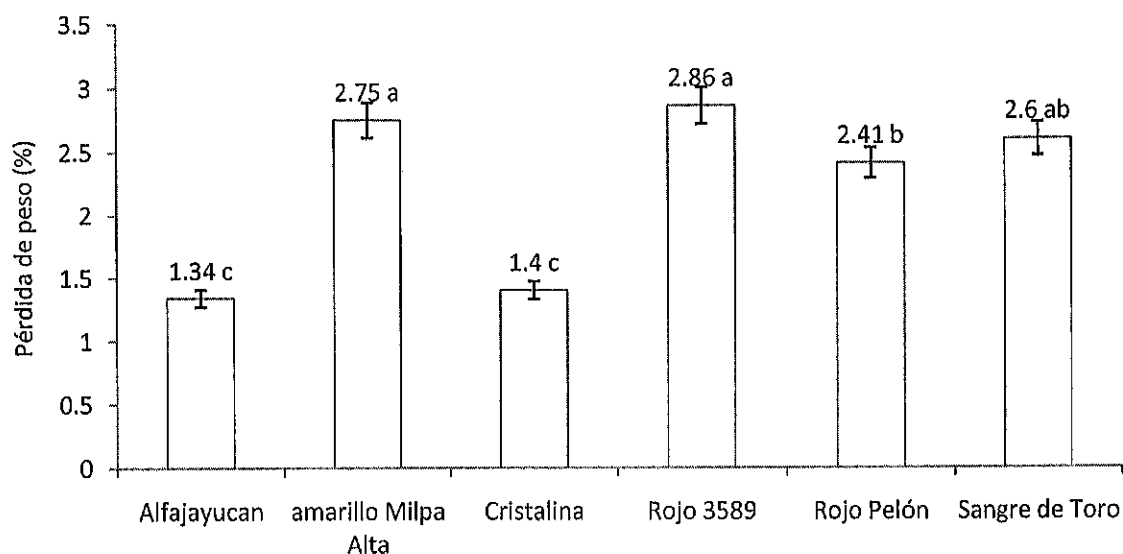


Figura 50. Pérdida de peso (%) de seis variedades de frutos de con espinas después de un almacenamiento por treinta d a 10°C. Tukey; $\alpha=0.05$.



Para las seis variedades el desespinado incrementó significativamente la pérdida de peso en frutos almacenados por 15 d a temperatura ambiente (Figura 51). Sin embargo, en “Cristalina” y “Rojo Pelón” este incremento no llegó a rebasar el umbral comercial del 5%. La variedad que más incrementó su pérdida de peso (26.6%) por el desespinado fue “Rojo Pelón”, seguida de “Rojo 3589” en cuyo caso el incremento significó un 22.4%, en “Amarillo Milpa Alta” y “Sangre de Toro” fue del alrededor del 20%, la variedad que menos efecto presentó por el desespinado fue “Alfajayucan” con 12.8%.

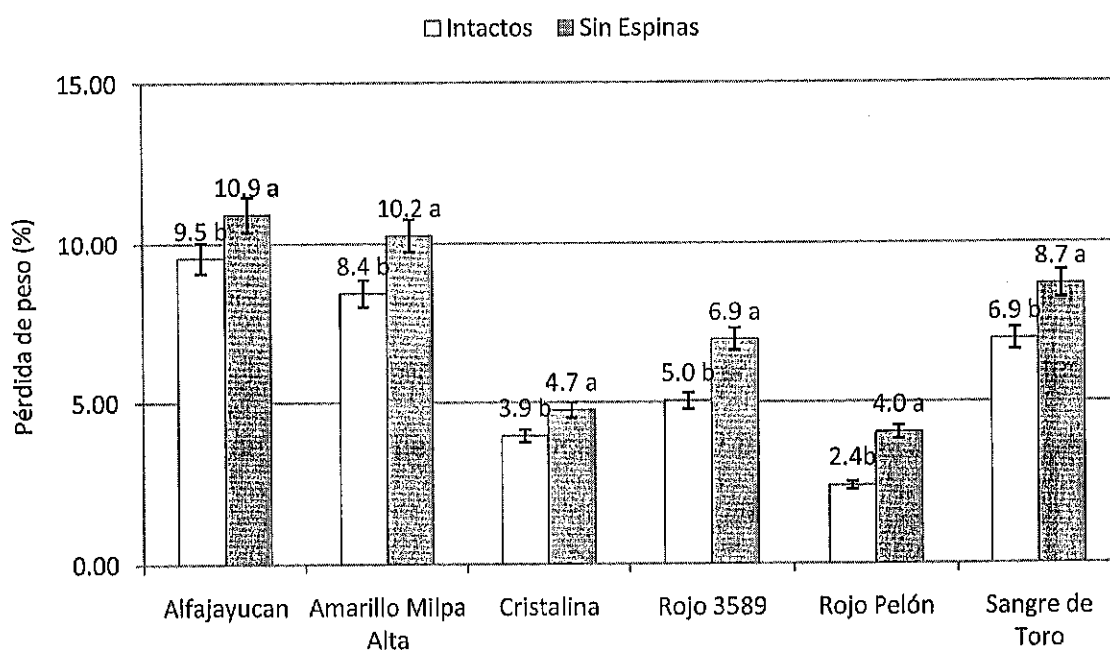


Figura 51. Comparación de pérdidas de peso (%) en seis variedades de frutos de tuna intactos y sin espinas después de un almacenamiento por 15 d a temperatura ambiente. Para cada variedad las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey; $\alpha=0.05$).

Si bien el desespinado incrementó la pérdida de peso en general, en ninguna variedad éste rebasó el 5% cuando se conservan en refrigeración. En estas condiciones la variedad más afectada por el desespinado fue "Alfajayucan" en la que la pérdida se incrementó un 42%, seguida por "Rojo Pelón" y "Cristalina" respectivamente, y la menos afectada fue "Sangre de Toro" en la cual el desespinado incrementó 14.75% la pérdida de peso (Figura 52).

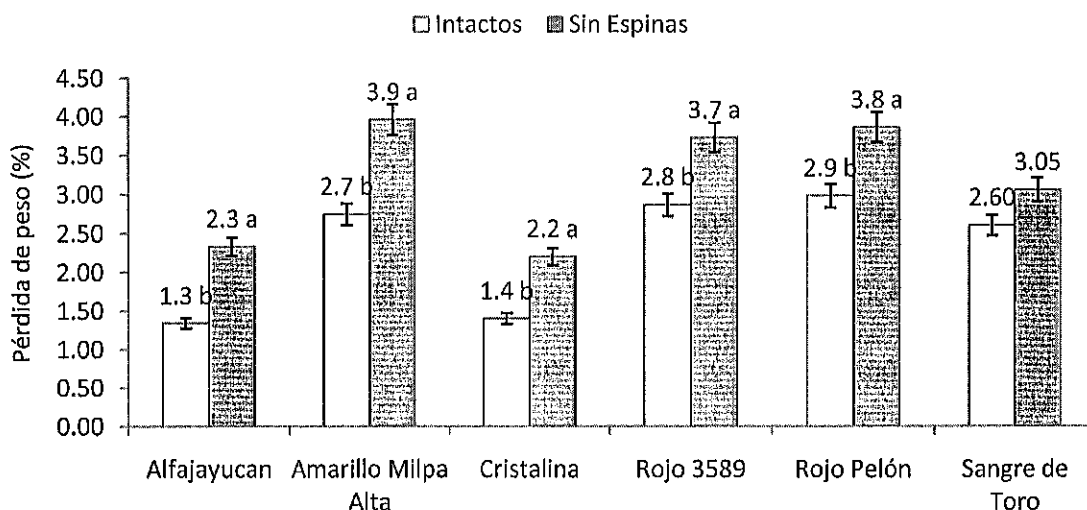


Figura 52. Comparación de pérdidas de peso (%) en frutos de tuna intactos y sin espinas de seis variedades después de un almacenamiento por 30 d a 10°C. Para cada variedad las medias sin letras son estadísticamente iguales (Tukey; $\alpha=0.05$).

En síntesis, entre variedades la pérdida de peso de la tuna se reduce por la refrigeración y se incrementa por el desespinado. El efecto de reducir la pérdida de peso debido a la refrigeración fue más importante que el incremento causado por el desespinado. Estos efectos dependen de la variedad. Los resultados anteriores son útiles porque significan el referente obligado para presentar y discutir los resultados variedad por variedad en cuanto a la aplicación de calor húmedo.

7.2.1 Efecto del Calor Húmedo

Los tratamientos con calor húmedo en general redujeron la pérdida de peso de las tunas. Sin embargo, los tratamientos con la mayor temperatura (42°C) incrementaron esta pérdida de peso en relación a los testigos. Este efecto varía dependiendo de la variedad, la temperatura y del tiempo de exposición al calor húmedo, así como de la temperatura de almacenamiento. La refrigeración redujo esta pérdida, pero cambió las tendencias de respuesta entre variedades.

En frutos almacenados por 15 d a temperatura ambiente, las variedades que menor pérdida de peso presentaron fueron "Cristalina" y "Rojo Pelón" con exposición a calor húmedo a 38°C por 24 y 12 h respectivamente, y las que mayor pérdida presentaron fueron "Amarilla Milpa Alta" y "Sangre de Toro", ambas con tratamiento de 42°C por 24 h (Cuadro 1).

Cuadro 1. Pérdida de peso (%) de seis variedades de frutos de tuna después de los tratamientos térmicos y almacenados durante 15 d a temperatura ambiente.

Tratamiento	"Alfajayucan"	"Amarillo Milpa Alta"	"Cristalina"	"Rojo 3589"	"Rojo Pelón"	"Sangre de Toro"
TD	10.91 ^a	10.25 ^c	4.76 ^{bc}	6.96 ^c	4.06 ^{ab}	8.69 ^c
35°C X 12h	7.74 ^c	6.53 ^e	4.04 ^{cd}	4.63 ^d	2.77 ^{bcd}	5.38 ^e
35°C X 24h	7.55 ^c	6.32 ^e	3.65 ^{cd}	7.31 ^c	3.31 ^{bc}	4.26 ^e
38°C X 12h	3.65 ^e	9.32 ^{cd}	4.03 ^{cd}	7.71 ^{bc}	2.32 ^d	4.82 ^e
38°C X 24h	5.31 ^d	9.31 ^{cd}	2.63 ^d	3.91 ^d	2.48 ^{cd}	4.23 ^e
42°C X 12h	8.52 ^{bc}	13.82 ^b	5.47 ^b	8.83 ^{ab}	3.83 ^{abc}	11.48 ^b
42°C X 24h	9.48 ^{ab}	15.22 ^a	7.02 ^a	10.07 ^a	4.17 ^a	13.22 ^a

TD= Testigo desespinado. Para cada variedad las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey; $\alpha=0.05$).

Los tratamientos con los que se obtuvo la menor pérdida fisiológica de peso fueron 38°C por 12 h para "Alfajayucan" y "Rojo Pelón", 38°C por 24 h para "Cristalina", "Rojo 3589" y "Sangre de Toro", y 35°C por 24 h para "Amarillo Milpa Alta". En frutos almacenados por 30 d a 10°C, la variedad "Cristalina" tratada a 38°C por 12 h fue la que presentó la menor pérdida de peso; para la variedad "Alfajayucan" estas condiciones también significaron la menor pérdida de peso. La mayor pérdida la presentó "Rojo 3589" expuesta a 42°C por 24 h, este mismo tratamiento causó la mayor pérdida de peso en las demás variedades. (Cuadro 2).

Los tratamientos con los que se obtuvo la menor pérdida de peso fueron 35°C por 24 h para "Amarillo Milpa Alta", 38°C por 12 h para "Alfajayucan", "Cristalina" y "Rojo Pelón", y 38°C por 24 h para "Sangre de Toro". Para "Rojo 3589" si bien el tratamiento de 38°C por 24 h redujo la pérdida de peso después de 15 d a temperatura ambiente, ni este tratamiento ni ningún otro lograron reducir la pérdida de peso después de 30 d a 10°C.

Cuadro 2. Pérdida de peso (%) de seis variedades de frutos de tuna después de los tratamientos térmicos y almacenados durante 30 d a 10°C.

Tratamiento	"Alfajayucan"	"Amarillo Milpa Alta"	"Cristalina"	"Rojo 3589"	"Rojo Pelón"	"Sangre de Toro"
TD	2.33 ^b	3.96 ^d	2.20 ^{bc}	3.73 ^e	3.86 ^a	3.05 ^{cd}
35°C X 12h	2.22 ^b	3.41 ^{de}	1.95 ^{bc}	6.06 ^{cd}	2.82 ^{cd}	2.97 ^{cd}
35°C X 24h	2.10 ^{bc}	3.23 ^{de}	1.43 ^{bcd}	6.80 ^{bc}	3.24 ^{abc}	2.53 ^d
38°C X 12h	1.40 ^c	3.48 ^{de}	0.92 ^d	5.90 ^d	2.27 ^d	3.56 ^c
38°C X 24h	1.53 ^{bc}	5.06 ^c	1.07 ^d	6.01 ^{cd}	2.79 ^{cd}	2.42 ^d
42°C X 12h	3.31 ^a	7.33 ^b	2.26 ^b	7.51 ^b	3.64 ^{ab}	6.06 ^b
42°C X 24h	3.75 ^a	9.02 ^a	3.25 ^a	9.22 ^a	3.72 ^{ab}	9.20 ^a

TD= Testigo desespinado. Para cada variedad las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey; $\alpha=0.05$).



7.2.2 Efecto del tiempo de exposición al calor húmedo y de la temperatura de tratamiento en la pérdida de peso

En frutos almacenados por 15 d a temperatura ambiente, en la mayoría de las variedades el tiempo de exposición a calor húmedo no tuvo efecto significativo, es decir, prácticamente exponer los frutos a 24 ó 12 h causó la misma pérdida de peso. Sin embargo, en la variedad "Alfajayucan", se logró mayor pérdida de peso con 24 que con 12 h de exposición (Figura 53). Schirra *et al.* (1999), encontraron que a mayor tiempo de exposición al calor húmedo en la tuna de la variedad "Gialla" se provoca un efecto contraproducente, es decir, en lugar de reducir la pérdida de peso, ésta se incrementa significativamente, en este sentido se corroboró el mismo efecto en la variedad "Alfajayucan", por lo que sería conveniente probar menores tiempos de exposición.

Para cualquiera de las variedades la mayor temperatura del tratamiento con calor húmedo (42°C) causó significativamente la mayor pérdida de peso; para la mayoría de las variedades no hubo diferencia significativa entre 35°C y 38°C (Figura 54).

En "Alfajayucan" se obtuvo significativamente menor pérdida de peso con 38°C que con 35°C. En cambio, en la variedad "Amarillo Milpa Alta" fue al revés, es decir, se obtuvo significativamente menor pérdida de peso con 35°C que con 38°C. Sin embargo, resalta el hecho de que en la mayoría de las variedades al menos numéricamente se obtuvo menor pérdida de peso con

38°C que con 35°C, situación que llegó a ser significativa solo en la variedad "Alfajayucan".

A 35°C se logró el efecto positivo de la reducción de la pérdida de peso, es decir, con esta temperatura muy probablemente se logró un determinado cambio de fase de la cera epicuticular, de tal manera que se obtuvo un reacomodo de las plaquillas de cera que incrementó relativamente su eficiencia como barrera protectora a la pérdida de agua por transpiración. Sin embargo, los resultados evidencian que este efecto benéfico se logró más contundentemente a 38°C. Esto da pauta a no probar menores temperaturas que 35°C.

Por otro lado, también sugieren, que en la variedad "Amarilla Milpa Alta" la temperatura de 38°C afectó negativamente al incrementar su pérdida de peso, esta respuesta se puede relacionar a que fue la variedad que presentó el menor grosor de cutícula además de la composición característica de la misma.



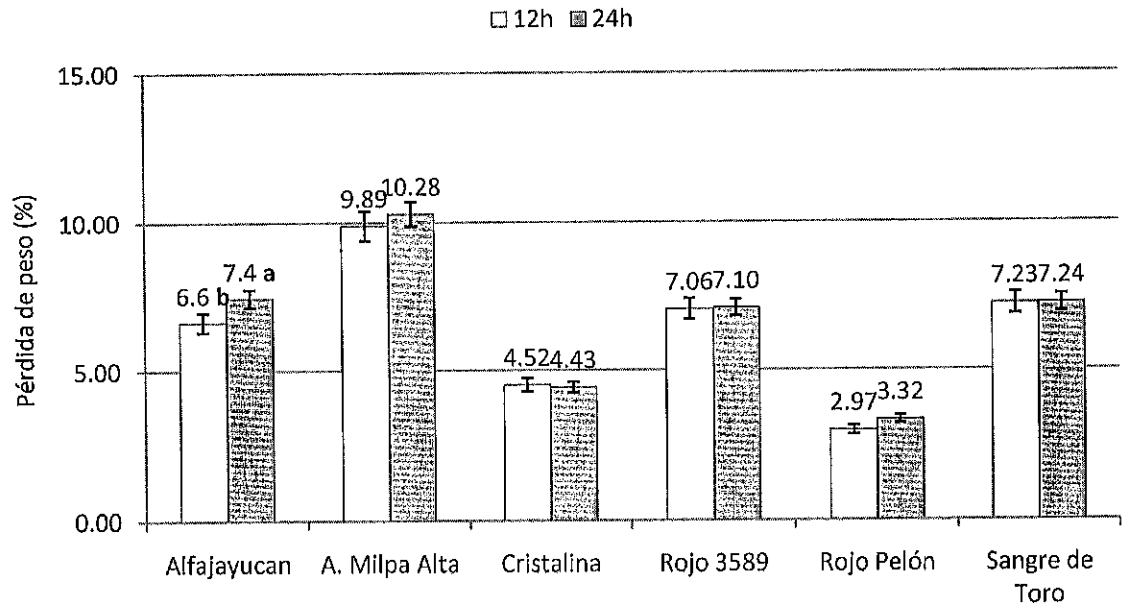


Figura 53. Efecto del tiempo de exposición a calor húmedo en 6 variedades de tuna sobre la pérdida de peso (%) a los 15 d de almacenamiento a temperatura ambiente. Para cada variedad las medias sin letras son estadísticamente iguales (Tukey; $\alpha=0.05$).

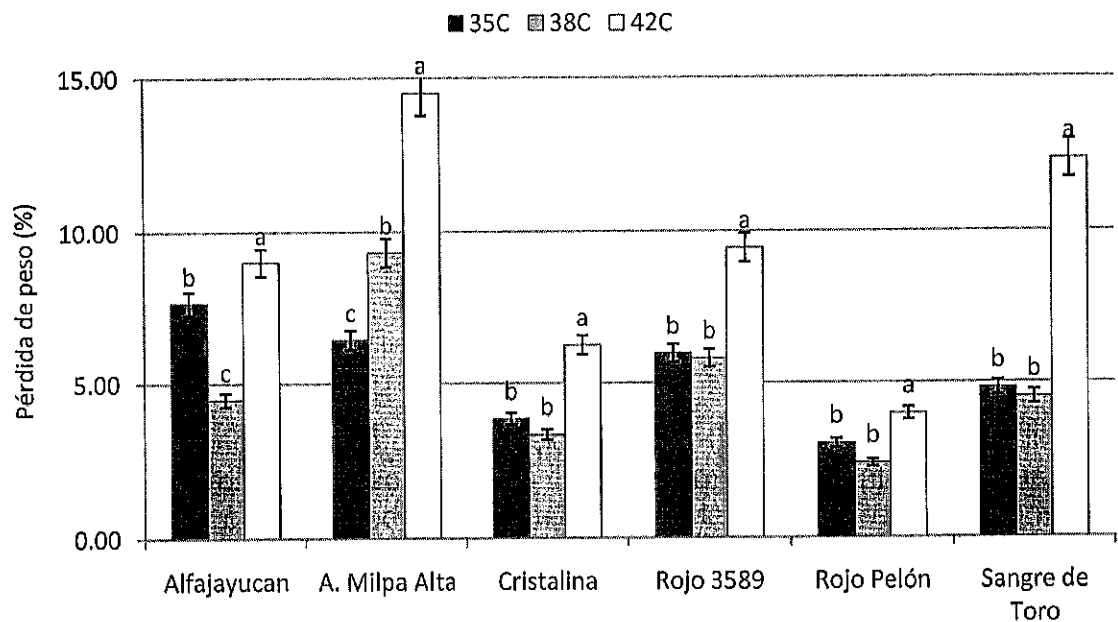


Figura 54. Efecto de la temperatura de exposición a calor húmedo en 6 variedades de tuna sobre la pérdida de peso (%) a los 15 d de almacenamiento a temperatura ambiente. Para cada variedad las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey; $\alpha=0.05$).

En tunas refrigeradas por 30 d a 10°C, el tiempo de exposición al calor húmedo tuvo efecto significativo en la mayoría de las variedades. A mayor tiempo de exposición (24 h) se obtuvo significativamente mayor pérdida de peso que con 12 h en las variedades "Amarillo Milpa Alta", "Rojo 3589" y "Rojo Pelón" (Figura 55).

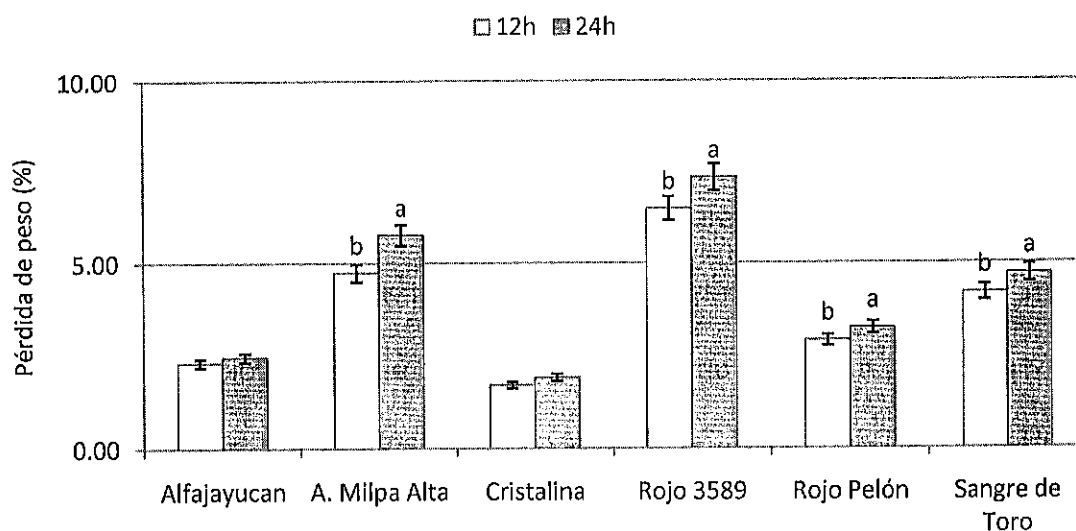
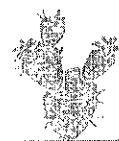


Figura 55. Efecto del tiempo de exposición al calor húmedo en 6 variedades de tuna sobre la pérdida de peso (%) a los 30 d de almacenamiento a 10°C. Para cada variedad, las medias sin letras son estadísticamente iguales (Tukey; $\alpha=0.05$).

En frutos almacenados por 30 d a 10°C, la temperatura de calor húmedo afectó significativamente la pérdida de peso. La mayor temperatura (42°C), en cualquiera de las variedades estudiadas, causó significativamente mayor pérdida de peso que con las otras temperaturas. Con 38°C se logró una pérdida de peso significativamente menor que con 35°C en las variedades "Alfajayucan", "Cristalina" y "Rojo 3589", en la variedad "Milpa Alta" fue al revés,



con 35°C se logró significativamente menor pérdida de peso que con 38°C (Figura 56).

La explicación puede ser similar a lo ya mencionado para el comportamiento de las mismas variedades almacenadas por 15 d a temperatura ambiente, porque se observan tendencias similares, es decir, que 38°C resultó ser la mejor temperatura porque redujo de manera más contundente la pérdida de peso que la de 35°C.

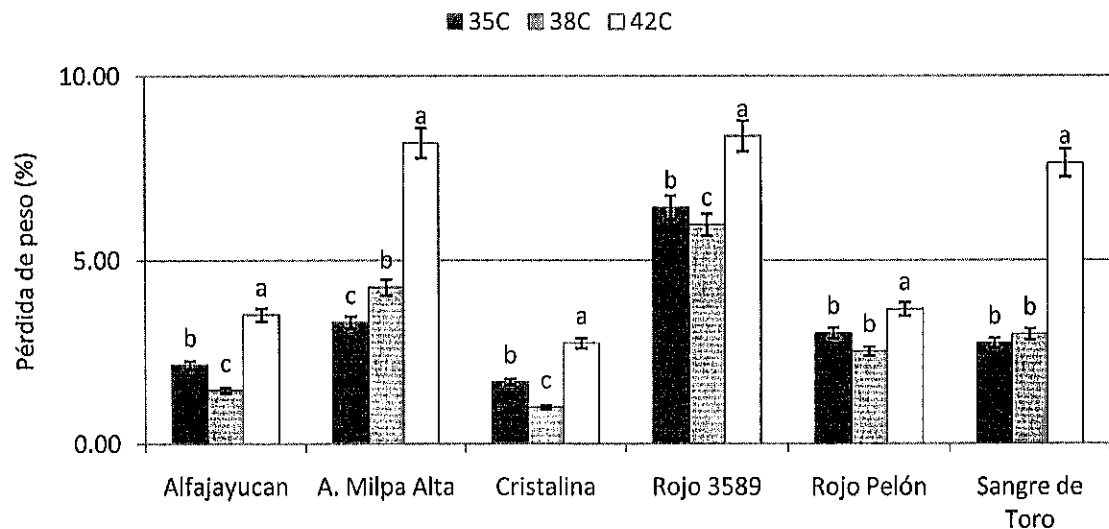


Figura 56. Efecto de la temperatura de exposición al calor húmedo en 6 variedades de tuna sobre la pérdida de peso (%) a los 30 d de almacenamiento a 10°C. Para cada variedad las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey; $\alpha=0.05$).



7.3 RESPIRACIÓN

Los datos de respiración obtenidos en este trabajo corroboran lo ya establecido por Cantwell (1991) y Corrales *et al.* (1997), con respecto a la poca actividad metabólica de la tuna (bajas tasas de respiración) y que ésta depende de la variedad.

En frutos almacenados por 15 d a temperatura ambiente, las variedades "Cristalina", "Rojo 3589" y "Rojo Pelón" presentaron tasas medias de respiración significativamente menores que "Alfajayucan" y "Sangre de Toro" (Figura 57). La fisiología de cada variedad, en virtud de tener diferentes características morfoanatómicas y composicionales, explica que la tasa media de respiración no sea la misma. Los resultados obtenidos significan que las variedades "Cristalina", "Rojo Pelón" y "Rojo 3589" tendrían mayor potencial de vida de anaquel, porque sus reservas no se agotan tan rápidamente como en las variedades "Alfajayucan", "Amarillo Milpa Alta" y "Sangre de Toro". Excepto en la variedad "Rojo Pelón", en las demás variedades se observó que las tunas sin espinas presentaron al menos numéricamente mayores tasas de respiración que las intactas (Figura 58), lo cual corrobora lo establecido por Corrales y Flores-Valdez (2003) quienes indicaron que el desespinado es un factor que incrementa la respiración. Los datos de la figura 10 también corroboran que consistentemente las variedades que respiran más o menos son las mismas con y sin espinas, es decir, "Cristalina", "Rojo 3589" y "Rojo Pelón" respiran menos que "Alfajayucan", "Amarillo Milpa Alta" y "Sangre de Toro".

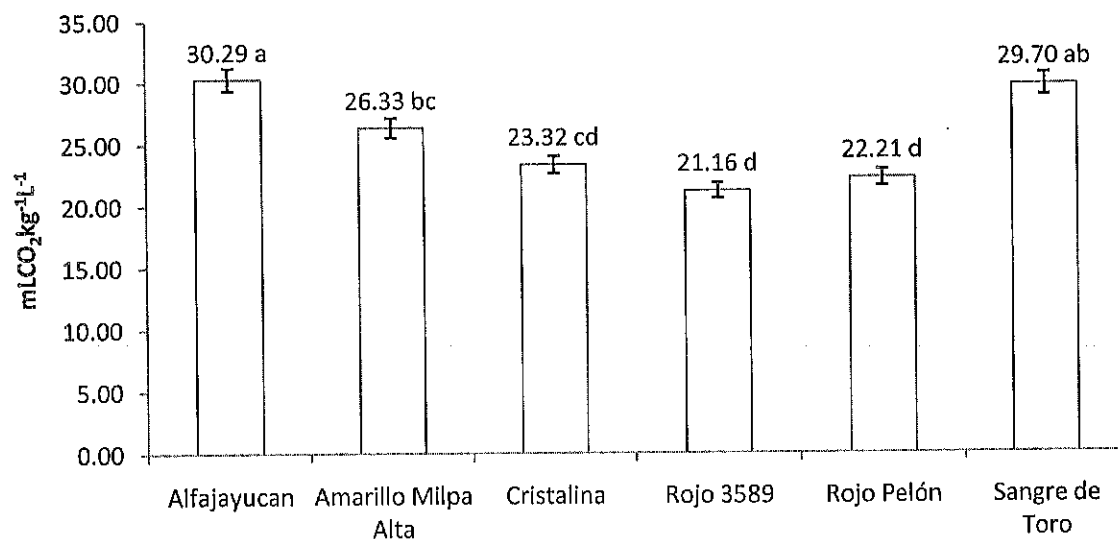


Figura 57. Tasa media (n=15) de respiración (mLCO₂kg⁻¹L⁻¹) de frutos de tuna de seis variedades durante su almacenamiento por 15 d a temperatura ambiente.

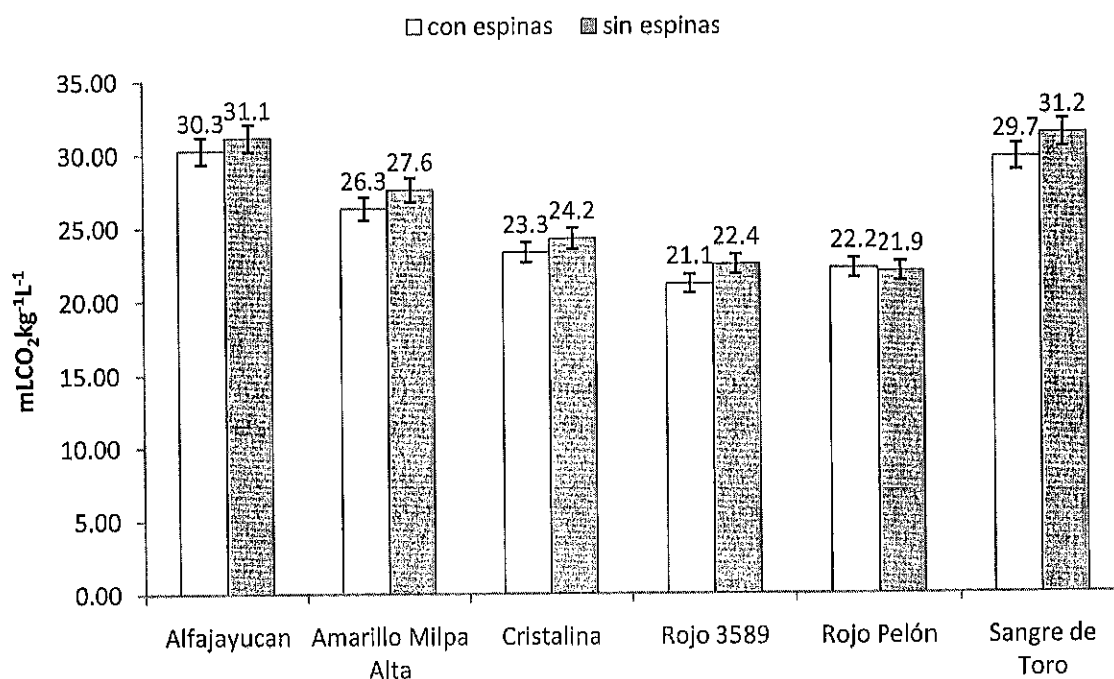


Figura 58. Comparación de la tasas medias (n=15) de respiración (mLCO₂kg⁻¹L⁻¹) en frutos con y sin espinas de seis variedades de tuna después de 15 de almacenamiento a temperatura ambiente. Barras sin letras son estadísticamente iguales.

7.3.1 Efecto del Calor Húmedo

Los resultados indican que en general los tratamientos con calor húmedo poco afectaron a la tasa de respiración, en la mayoría de las variedades hubo mayor tasa de respiración con la exposición de la mayor temperatura (42°C). Con esta temperatura, las variedades "Cristalina", "Rojo 3589", "Rojo Pelón" y "Sangre de Toro" presentaron la mayor tasa de respiración con el mayor tiempo de exposición y sólo "Alfajayucan" con el menor tiempo de exposición de 12 h (Cuadro 3).

Cuadro 3. Tasa media de respiración (n=15) de seis variedades de frutos de tuna después del tratamiento térmico y almacenadas durante 15 d a temperatura ambiente

Tratamiento	"Alfajayucan"	"Amarillo Milpa Alta"	"Cristalina"	"Rojo 3589"	"Rojo Pelón"	"Sangre de Toro"
TD	31.15	27.60 ^{ab}	24.26 ^{ab}	22.48	21.97	31.29 ^b
35°C X 12h	30.24	26.71 ^b	24.18 ^{ab}	21.19	21.40	31.80 ^{ab}
35°C X 24h	30.30	28.74 ^{ab}	22.39 ^b	21.43	21.81	31.49 ^{ab}
38°C X 12h	31.03	31.11 ^a	23.18 ^{ab}	19.83	21.14	31.94 ^{ab}
38°C X 24h	31.08	27.07 ^b	25.00 ^{ab}	21.12	21.22	31.17 ^b
42°C X 12h	32.92	28.19 ^{ab}	26.16 ^{ab}	22.18	22.81	32.50 ^{ab}
42°C X 24h	31.07	25.76 ^b	26.78 ^a	22.40	22.82	35.14 ^a

*= $\text{mLCO}_2\text{kg}^{-1}\text{h}^{-1}$, TD= Testigo desespinado. Para cada variedad las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey; $\alpha=0.05$). Medias sin letras son estadísticamente iguales.



7.3.2 Efecto del tiempo de exposición al calor húmedo y de la temperatura de tratamiento

En frutos de tuna almacenados por 15 d a temperatura ambiente, el tiempo de exposición al calor húmedo no tuvo efecto significativo en la mayoría de las variedades. En la variedad "Amarillo Milpa Alta" la exposición al calor húmedo durante 12 h causó una tasa media de respiración significativamente mayor que la obtenida con una exposición de 24 h (Figura 59).

La temperatura de tratamiento de calor húmedo en frutos de tuna almacenados por 15 d a temperatura ambiente afectó significativamente la tasa media de respiración. La mayor temperatura de tratamiento (42°C), incrementó significativamente la tasa media de respiración en las variedades "Cristalina" y "Sangre de Toro", y al menos numéricamente en las variedades "Alfajayucan", "Rojo 3589" y "Rojo Pelón". Las temperaturas de 35 y 38°C no causaron diferencia significativa en ninguna de las variedades estudiadas (Figura 60).

En resumen para casi todas las variedades excepto "Amarillo Milpa Alta" la tasa media de respiración se incrementó por el desespinado y la aplicación de calor húmedo. Sin embargo, si bien la respiración aumenta con la exposición a calor húmedo, este efecto no llegó a ser tan importante, es decir, la tuna mantiene su típica baja tasa de respiración.



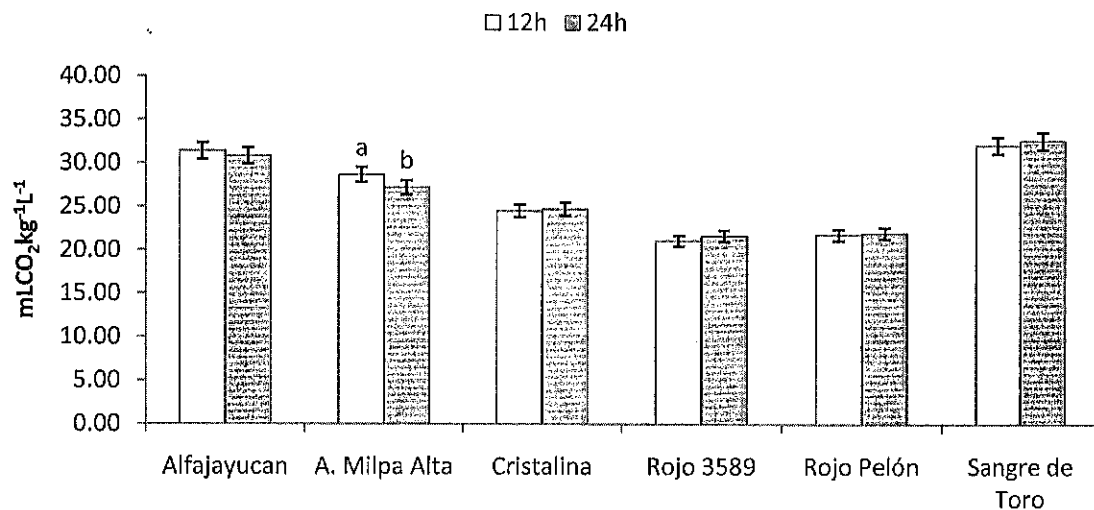


Figura 59. Efecto del tiempo de exposición al calor húmedo en 6 variedades de frutos de tuna sobre la tasa media de respiración (mLCO₂ kg⁻¹ L⁻¹) durante 15 d de almacenamiento a temperatura ambiente. Barras sin letras son estadísticamente iguales (Tukey; $\alpha=0.05$).

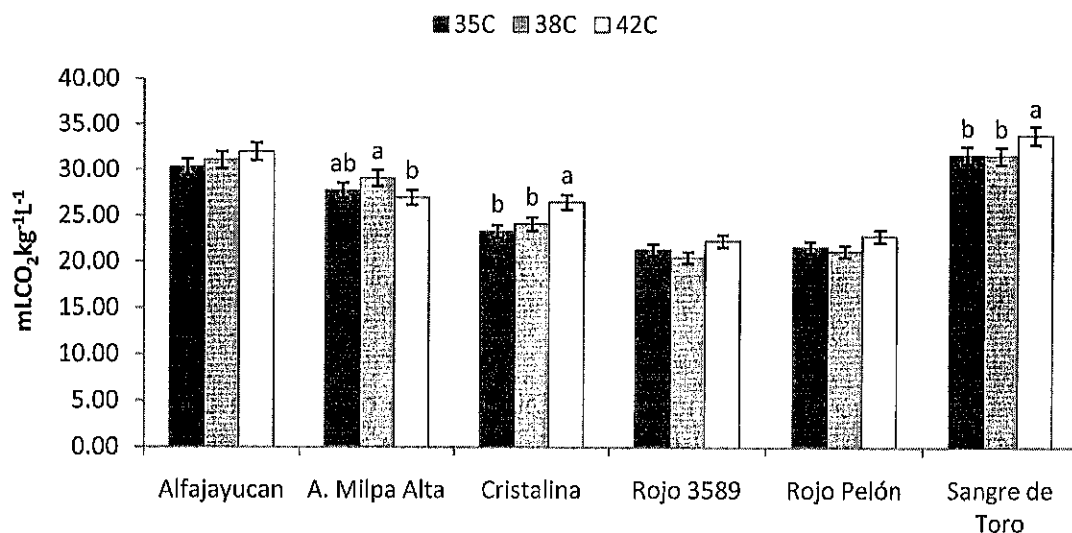


Figura 60. Efecto de la temperatura de exposición al calor húmedo en 6 variedades de frutos de tuna sobre la tasa media de respiración (mLCO₂ kg⁻¹ L⁻¹) durante 15 d de almacenamiento a temperatura ambiente. Barras sin letras son estadísticamente iguales (Tukey; $\alpha=0.05$).

7.4 GROSOR DE CUTÍCULA

El grosor de cutícula que presentan los frutos intactos de tuna, en las variedades "Rojo Pelón", "Sangre de Toro" y "Alfajayucan" oscila en el intervalo de 7-7.6 μm y es lisa en todas las variedades (Apéndice 1). Las variedades "Rojo 3589" y "Cristalina" presentaron significativamente los valores más altos y "Amarillo Milpa Alta" el menor grosor (Figura 61).

En la mayoría de las variedades el desespinado redujo el grosor de la cutícula y este efecto llegó a ser significativo sólo en la variedades "Alfajayucan" y "Cristalina" (Figura 62).

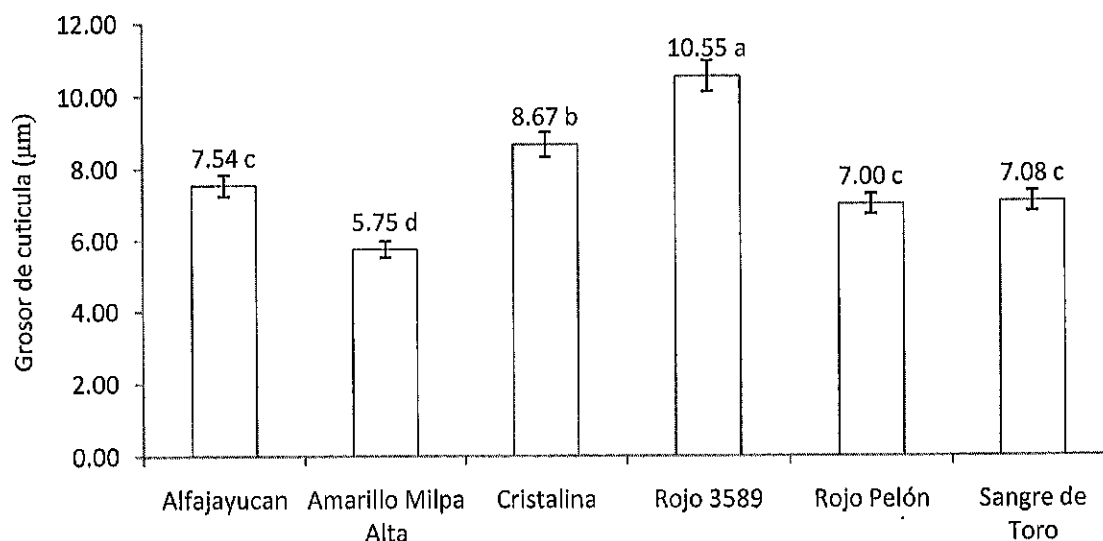


Figura 61. Grosor de cutícula (μm) de seis variedades de frutos de tuna intactos. (Tukey; $\alpha=0.05$).

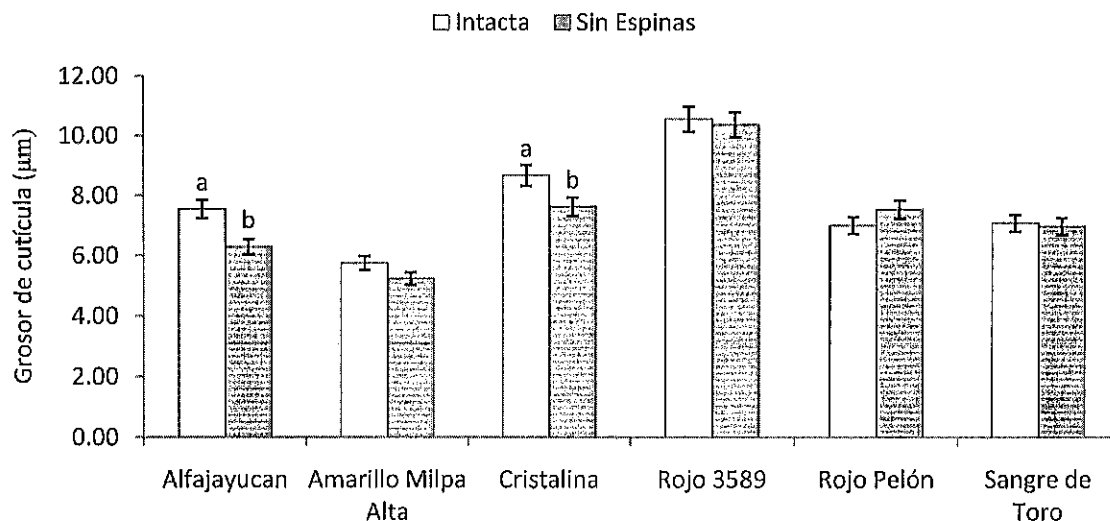


Figura 62. Comparación de grosor de cutícula entre frutos de seis variedades de tuna con y sin espinas. Para cada variedad las medias sin letras son estadísticamente iguales (Tukey; $\alpha=0.05$).

7.4.1 Efecto de los tratamientos con Calor Húmedo

El grosor de la cutícula presentó diferencias entre testigos y tratamientos (ver modificaciones cualitativas en Apéndice 1), en algunas variedades se adelgazó la capa, esto debido probablemente al efecto del tratamiento térmico, ya que como menciona D'hallewin *et al.* (1999), al aplicar calor húmedo existe un aplanamiento de las plaquetas presentes en la superficie de la tuna, así se observó que en las variedades "Cristalina", "Rojo 3589" y "Alfajayucan" mientras más alta fue la temperatura y sin llegar a ser grandemente significativo presentaron un adelgazamiento. En cambio para las variedades "Amarillo Milpa Alta", "Rojo Pelón" y "Sangre de Toro" en algún tratamiento aparentemente se presentó un grosor de la cutícula mayor a los testigos (Cuadro 4).



Los incrementos en el grosor de la cutícula muy posiblemente se deban a la entrada temporal de humedad en los huecos de la periferia de la cutícula a causa de la saturación del aire del tratamiento.

Cuadro 4. Grosor de cutícula (μm) de seis variedades de frutos de tuna después del tratamiento térmico.

Tratamiento	"Alfajayucan"	"Amarillo Milpa Alta"	"Cristalina"	"Rojo 3589"	"Rojo Pelón"	"Sangre de Toro"
TD	6.29 ^{bc}	5.23 ^c	7.62 ^{bc}	10.37 ^a	7.54 ^{ab}	6.97 ^{ab}
35°C X 12h	6.68 ^{bc}	6.54 ^{abc}	9.93 ^a	7.56 ^b	7.75 ^{ab}	6.27 ^{ab}
35°C X 24h	7.40 ^b	8.34 ^a	7.27 ^{bc}	6.65 ^{bc}	6.56 ^{bc}	8.08 ^a
38°C X 12h	9.30 ^a	7.78 ^{ab}	6.41 ^c	6.24 ^{bc}	7.92 ^{ab}	6.33 ^{ab}
38°C X 24h	5.40 ^c	5.79 ^c	7.60 ^{bc}	7.67 ^{bc}	8.71 ^a	7.39 ^{ab}
42°C X 12h	6.29 ^{bc}	5.37 ^c	6.74 ^c	6.47 ^{bc}	5.93 ^c	6.31 ^{ab}
42°C X 24h	5.83 ^{bc}	6.06 ^{bc}	6.01 ^c	5.73 ^c	6.33 ^{bc}	5.72 ^b

*= μm , TD= Testigo desespinado. Para cada variedad las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey; $\alpha=0.05$).

Las diferencias entre variedades se asocian a las características intrínsecas de cada una de ellas, ya que éstas estaban bajo las mismas condiciones de almacenamiento.

El grosor de la cutícula varía entre especies y órganos de una misma planta Jeffrey, (1996). Knoche *et al.* (2004) y Rogiers *et al.* (2004) afirman que la resistencia que ofrece la cutícula a los daños mecánicos, a la difusión de gases, a los cambios en permeabilidad al agua y la penetración de microorganismos, son características que no dependen específicamente de su grosor sino más bien de los cambios de la estructura cuticular y de las proporciones en que se encuentran sus componentes.

7.4.2 Efecto del tiempo de exposición y temperatura de tratamiento

El tiempo de exposición también afectó diferencialmente las variedades, en algunas a mayor tiempo de exposición ("Alfajayucan" y "Cristalina") mayor compactación y por tanto menor grosor de cutícula y en "Sangre de Toro" ocurrió lo contrario, a mayor tiempo de exposición mayor grosor, y en la otras variedades el tiempo no afectó significativamente (Figura 63).

En todas las variedades estudiadas excepto "Amarillo Milpa Alta" la mayor temperatura (42°C) redujo el grosor de cutícula (Figura 64). En la variedad "Rojo 3589" todas las temperaturas causaron una reducción en la cutícula. El grosor de la cutícula aumenta o disminuye en función de la temperatura y variedad, y sólo "Rojo 3589" tuvo una reducción consistente, es decir, a mayor temperatura mayor reducción.

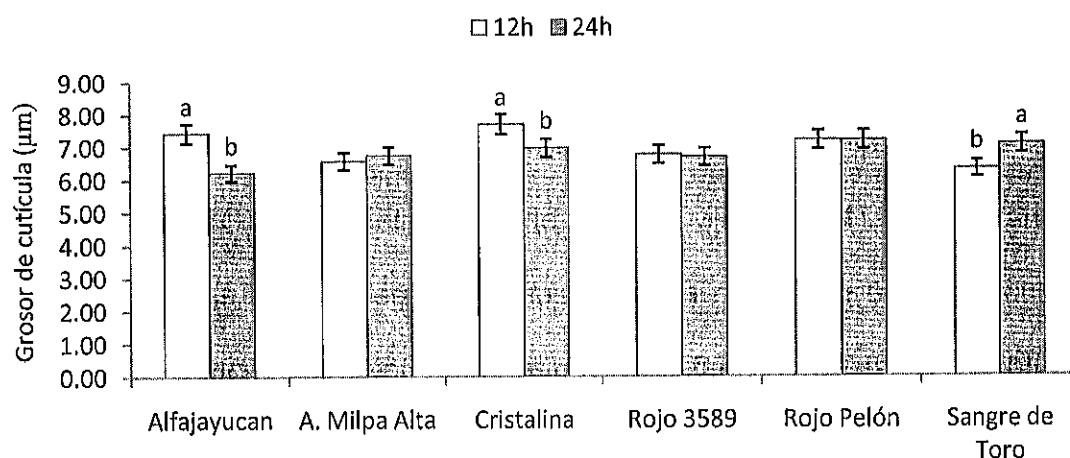


Figura 63. Efecto del tiempo de exposición de seis variedades de frutos de tuna sobre el grosor de la cutícula. Para cada variedad las medias sin letras son estadísticamente iguales (Tukey; $\alpha=0.05$).



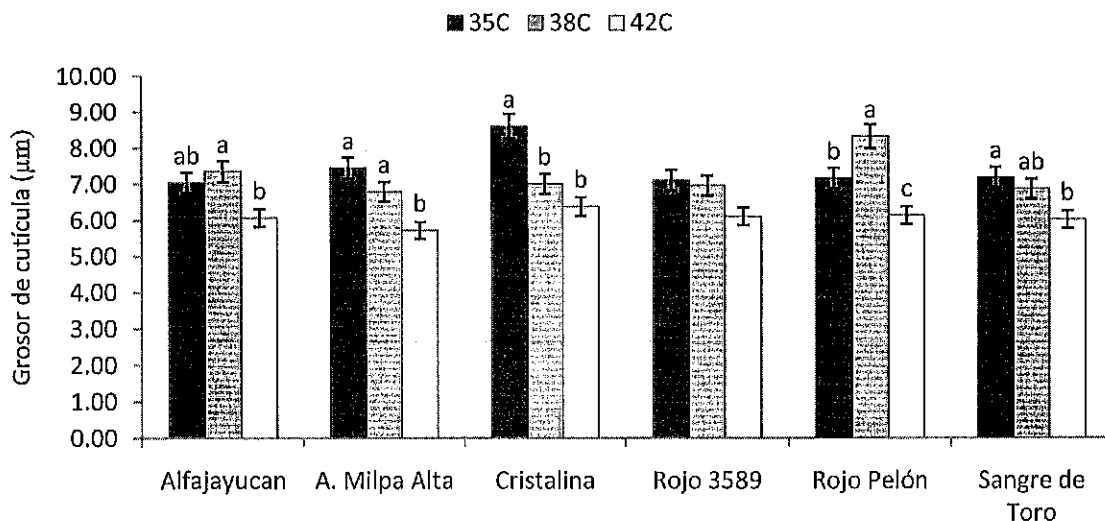


Figura 64. Efecto de la temperatura de exposición de seis variedades de frutos de tuna sobre el grosor de la cutícula. Para cada variedad las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey; $\alpha=0.05$).

7.5 APARIENCIA

Las tunas de las variedades “Cristalina” y “Rojo Pelón”, destacaron de las demás por presentar una apariencia entre excelente y buena aun después de quince d de almacenamiento a temperatura ambiente (Figura 65). Se distinguen otros dos grupos, uno con “Rojo 3589” y “Alfajayucan”, que presentaron una apariencia entre buena y aceptable. Las variedades “Amarillo Milpa Alta” y “Sangre de Toro” presentaron una apariencia aceptable.

Después de treinta d de almacenamiento a 10°C, las variedades “Cristalina” y “Rojo Pelón” son las que mejor apariencia presentaron (Figura 66). Estos datos de apariencia reflejan la misma tendencia presentada con el almacenamiento de 15 d a temperatura ambiente. Las variedades “Alfajayucan”

y "Sangre de Toro" fueron las que presentaron la menor calificación en apariencia.

Las variedades mejor calificadas en apariencia tanto a los 15 d a temperatura ambiente como a los 30 d de almacenamiento a 10 ° C son las que presentaron menores tasas de respiración y menores pérdidas de peso, lo cual es bastante consistente y lógico.

Las tunas con bajas tasas de respiración mantienen sus reservas por más tiempo, y por lo mismo tienen mayor vida de anaquel. Por otro lado, una baja pérdida de peso indica que las células de la cáscara mantienen su turgencia por más tiempo, lo que se traduce en una mejor apariencia

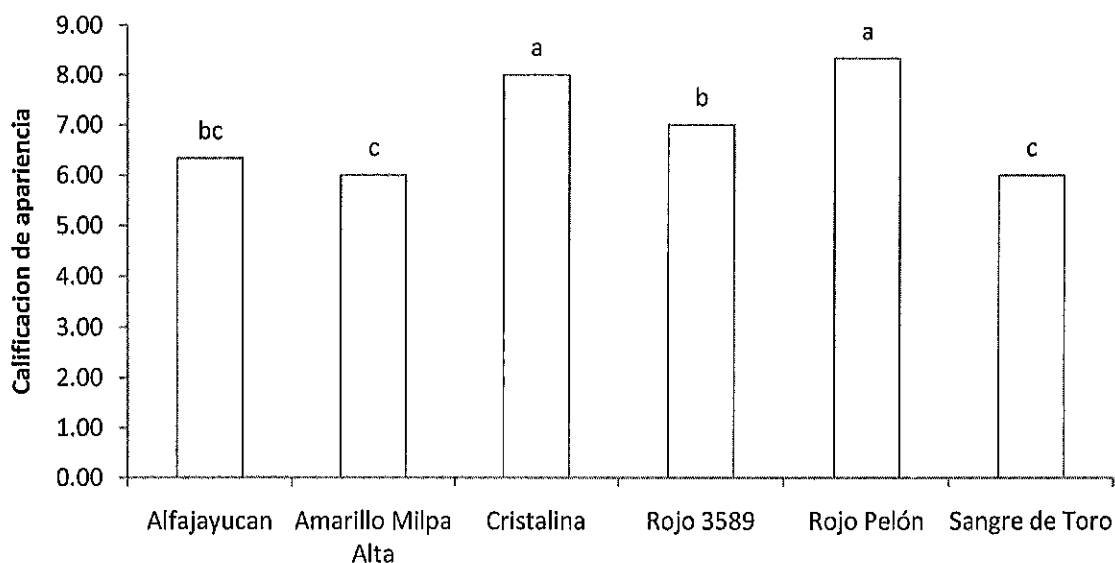


Figura 65. Calificación promedio de la apariencia de seis variedades de frutos de tuna después de 15 d de almacenamiento a temperatura ambiente. 9= excelente, 7= buena, 5= aceptable, 3=pobre.



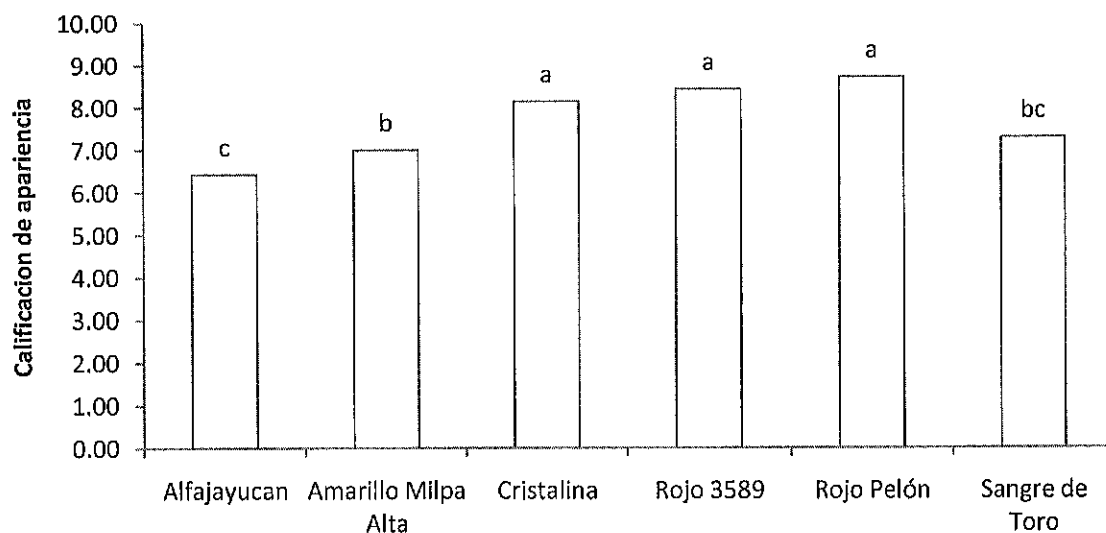


Figura 66. Calificación promedio de la apariencia de seis variedades de frutos de tuna después de 30 d de almacenamiento a 10°C. 9= excelente, 7= buena, 5= aceptable, 3=pobre.

El desespinado de frutos en cinco de las seis variedades estudiadas no tuvo efecto en la apariencia. En los frutos de la variedad "Sangre de Toro", las de mejor apariencia fueron las desespinadas, debido probablemente a que el desespinado produjo un abrillantamiento de la epidermis lo que mejoró su apariencia. Este mismo efecto en esta misma variedad consistentemente se presentó después de 30 d a 10°C (Figuras 67 y 68).



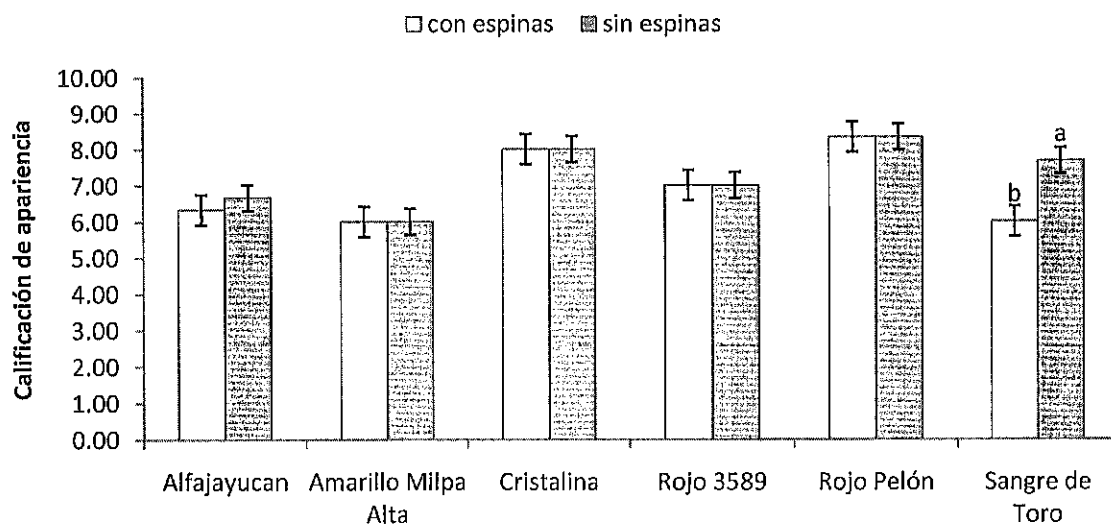


Figura 67. Comparación de la calificación promedio de la apariencia de seis variedades de tunas en frutos con y sin espinas después de 15 d de almacenamiento a temperatura ambiente. Barras sin letras son estadísticamente iguales. 9= excelente, 7= buena, 5= aceptable, 3=pobre.

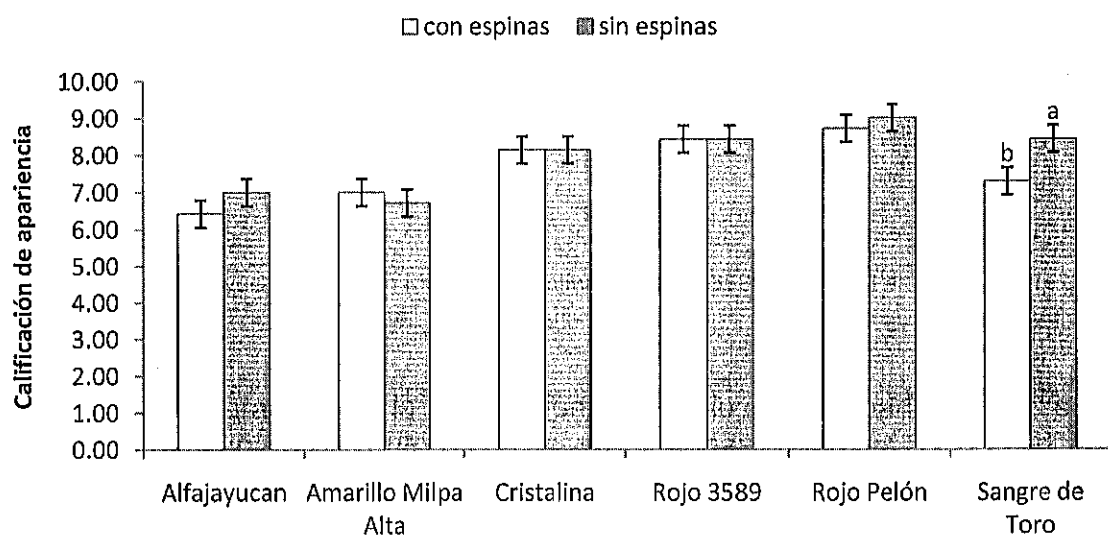


Figura 68. Comparación en la apariencia de seis variedades de tunas en frutos con y sin espinas después de 30 d de almacenamiento a 10°C. Barras sin letras son estadísticamente iguales. 9= excelente, 7= buena, 5= aceptable, 3=pobre.



7.5.1 Efecto del Calor Húmedo

El tratamiento con calor húmedo a 42°C afectó negativamente la apariencia de los frutos en las seis variedades estudiadas (Cuadro 5). En la variedad "Rojo 3589" ninguno de los tratamientos implicó una mejor conservación de la apariencia.

La apariencia se conservó mejor considerablemente en la variedad "Cristalina" tratada a 35 ó 38°C por 12 ó 24 h. En otras variedades la apariencia se conservó mejor sólo en algunos tratamientos, "Alfajayucan" a 38°C por 12 h, "Amarillo Milpa Alta" a 35°C por 12 ó 24 h, "Rojo Pelón" y "Sangre de Toro" a 38°C por 12 ó 24 h.

El tratamiento térmico, en general conservó una buena apariencia de los frutos dependiendo de la variedad, excepto en "Rojo 3589" en la cual no tuvieron ningún efecto. En frutos almacenados por 30 d a 10°C la mayor temperatura de tratamiento (42°C) afectó negativamente la apariencia en todas las variedades, igual como ocurrió en frutas almacenadas por 15 d a temperatura ambiente (Cuadro 6).



Cuadro 5. Calificación promedio de la apariencia de seis variedades de frutos de tuna en frutos almacenados durante 15 d a temperatura ambiente.

Tratamiento	"Alfajayucan"	"Amarillo Milpa Alta"	"Cristalina"	"Rojo 3589"	"Rojo Pelón"	"Sangre de Toro"
TD	6.67 ^{ab}	6.00 ^b	8.00 ^b	7.00 ^a	8.33 ^{ab}	7.67 ^a
35°C X 12h	6.00 ^{bc}	7.00 ^a	9.00 ^a	7.00 ^a	8.33 ^{ab}	7.67 ^a
35°C X 24h	6.00 ^{bc}	7.00 ^a	9.00 ^a	7.00 ^a	8.33 ^{ab}	7.67 ^a
38°C X 12h	7.00 ^a	5.33 ^{bc}	9.00 ^a	7.00 ^a	9.00 ^a	8.00 ^a
38°C X 24h	6.00 ^{bc}	5.33 ^{bc}	9.00 ^a	7.00 ^a	9.00 ^a	8.00 ^a
42°C X 12h	5.33 ^c	5.33 ^{bc}	7.67 ^b	5.33 ^b	7.67 ^{bc}	7.33 ^a
42°C X 24h	5.33 ^c	5.00 ^c	7.67 ^b	5.67 ^b	7.00 ^c	5.33 ^b

*= Para apariencia externa 9= excelente, 7= buena, 5= aceptable, 3=pobre.

TD= Testigo desespinado. Para cada variedad las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey; $\alpha=0.05$).

Cuadro 6. Calificación promedio de la apariencia de seis variedades de frutos de tuna en frutos almacenados durante 30 d a 10°C.

Tratamiento	"Alfajayucan"	"Amarillo Milpa Alta"	"Cristalina"	Rojo 3589	"Rojo Pelón"	"Sangre de Toro"
TD	7.00 ^{bc}	6.71 ^{bc}	8.14 ^{ab}	8.43 ^a	9.00 ^b	8.43 ^a
35°C X 12h	7.00 ^{bc}	7.29 ^{ab}	9.00 ^a	8.43 ^a	9.00 ^b	7.29 ^b
35°C X 24h	6.71 ^{bcd}	7.86 ^a	9.00 ^a	8.43 ^a	9.00 ^b	8.43 ^a
38°C X 12h	7.86 ^a	7.29 ^{ab}	9.00 ^a	8.43 ^a	9.00 ^b	8.43 ^a
38°C X 24h	7.29 ^{ab}	6.43 ^c	9.00 ^a	8.43 ^a	9.00 ^b	8.43 ^a
42°C X 12h	6.14 ^{de}	5.57 ^d	8.14 ^{ab}	7.00 ^b	8.14 ^{ab}	6.43 ^{cb}
42°C X 24h	5.86 ^e	5.57 ^d	7.86 ^b	6.43 ^b	7.57 ^b	5.86 ^c

*= Para apariencia externa 9= excelente, 7= buena, 5= aceptable, 3=pobre.

TD= Testigo desespinado. Para cada variedad las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey; $\alpha=0.05$).

Estos resultados son consistentes con los encontrados en la pérdida de peso, es decir, a menor pérdida de peso mejor apariencia. En la variedad "Alfajayucan" después de 15 d de almacenamiento a temperatura ambiente el tratamiento a 38°C por 12 h causó la mejor apariencia y coincidentemente la menor pérdida de peso, igualmente con "Amarillo Milpa Alta" con tratamiento de 35°C por 12 ó 24 h. En las demás variedades, aunque no es tan contundente la



relación entre pérdida de peso y apariencia, las amplitudes de las mejores calificaciones de ésta última corresponden a las menores pérdida de peso.

7.5.2 Efecto del tiempo de exposición y temperatura de tratamiento

El efecto del tiempo de exposición (12 ó 24 h) sólo llegó a ser significativo en la variedad "Sangre de Toro", en cuyo caso los frutos expuestos por 12 h presentaron mejor apariencia que los expuestos por 24 h (Figura 69).

Por otro lado, en frutos de tuna al exponerlos a 42°C, se obtuvo la menor calificación en todas las variedades llegando a ser significativo excepto en "Amarillo Milpa Alta". Los tratamientos con 35 ó 38°C no afectaron la apariencia de manera importante, excepto en "Amarillo Milpa Alta" en cuyo caso la mejor apariencia se logró con la menor temperatura (Figura 70).

Después de 30 d a 10°C tampoco se aprecia el efecto del tiempo de exposición al calor húmedo en ninguna de las variedades excepto en "Alfajayucan" (Figura 71). El efecto de la temperatura en frutos frigoconservados tuvo el mismo efecto significativo que los frutos almacenados a temperatura ambiente, sólo en las variedades "Alfajayucan" y "Amarillo Milpa Alta" se encontró una diferenciación significativa entre cada temperatura (Figura 72).



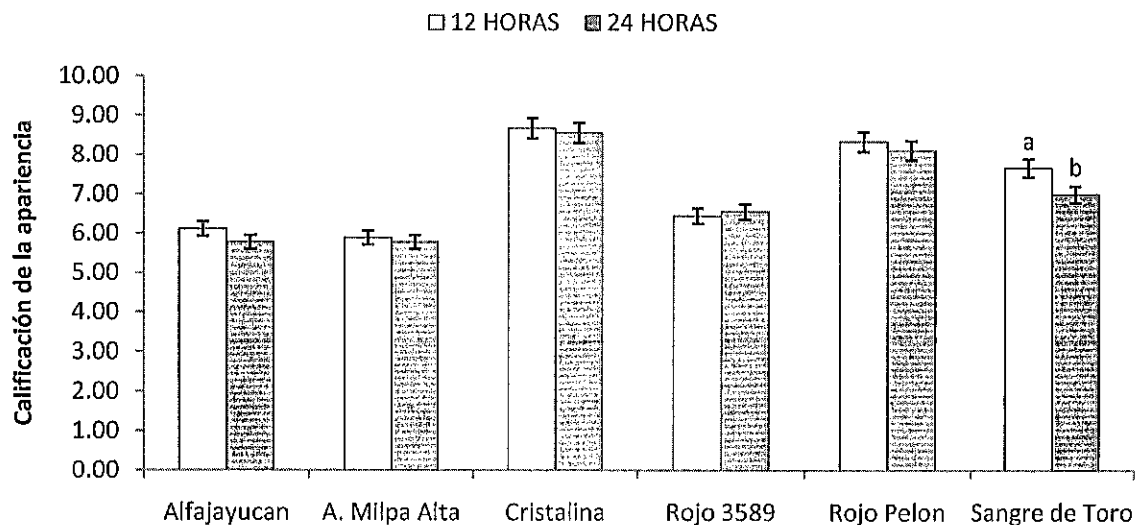


Figura 69. Efecto del tiempo de exposición al calor húmedo sobre la apariencia de frutos de tuna durante 15 d de almacenamiento a temperatura ambiente. Barras sin letras son estadísticamente iguales. Para apariencia externa 9= excelente, 7= buena, 5= aceptable, 3=pobre.

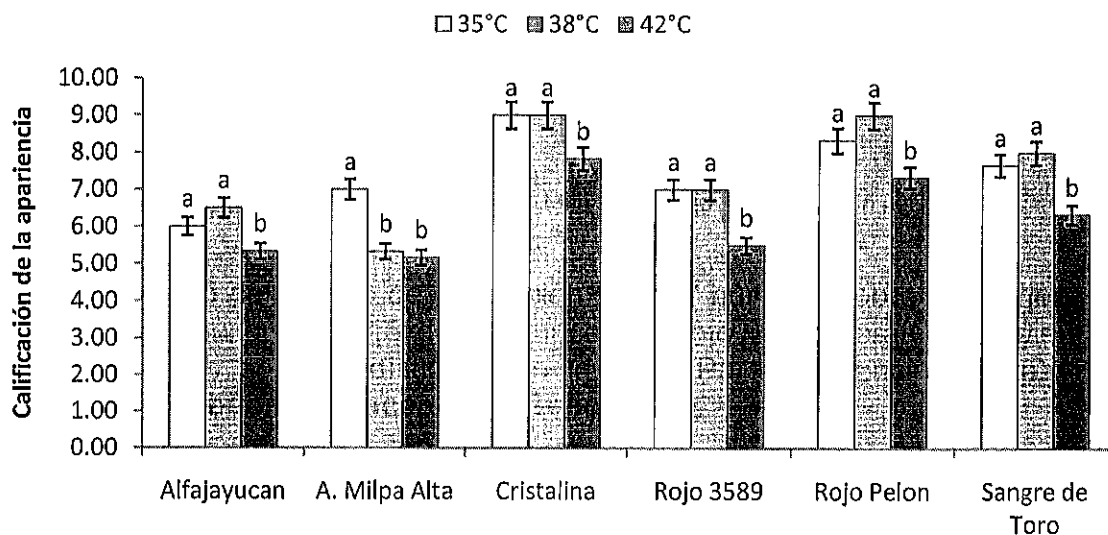


Figura 70. Efecto de la temperatura de tratamiento en seis variedades de frutos de tuna sobre la apariencia durante 15 d de almacenamiento a temperatura ambiente. 9= excelente, 7= buena, 5= aceptable, 3=pobre.

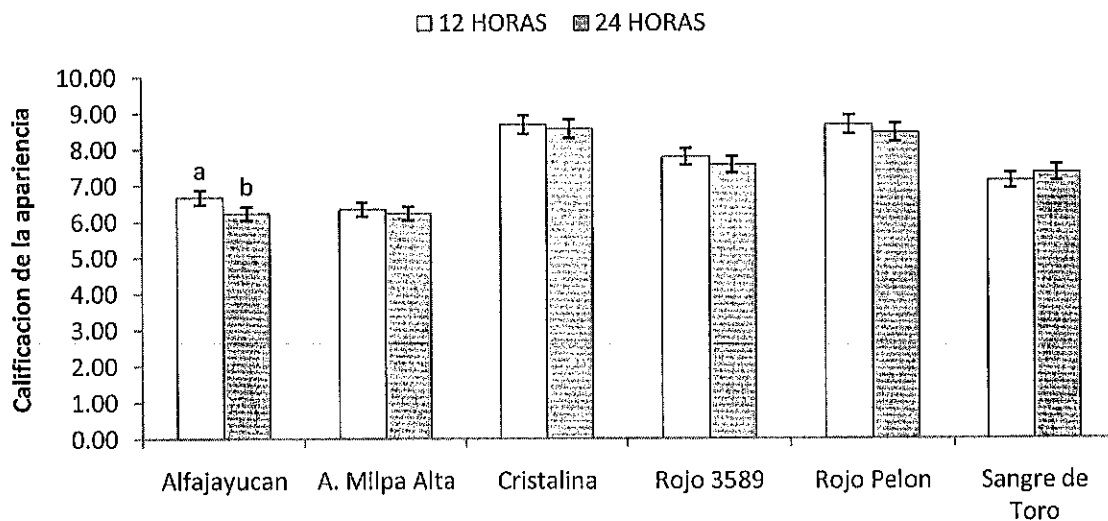


Figura 71. Efecto del tiempo de exposición al calor húmedo en seis variedades de frutos de tuna sobre la apariencia durante 30 d a 10°C. Barras sin letras son estadísticamente iguales. 9= excelente, 7= buena, 5= aceptable, 3=pobre.

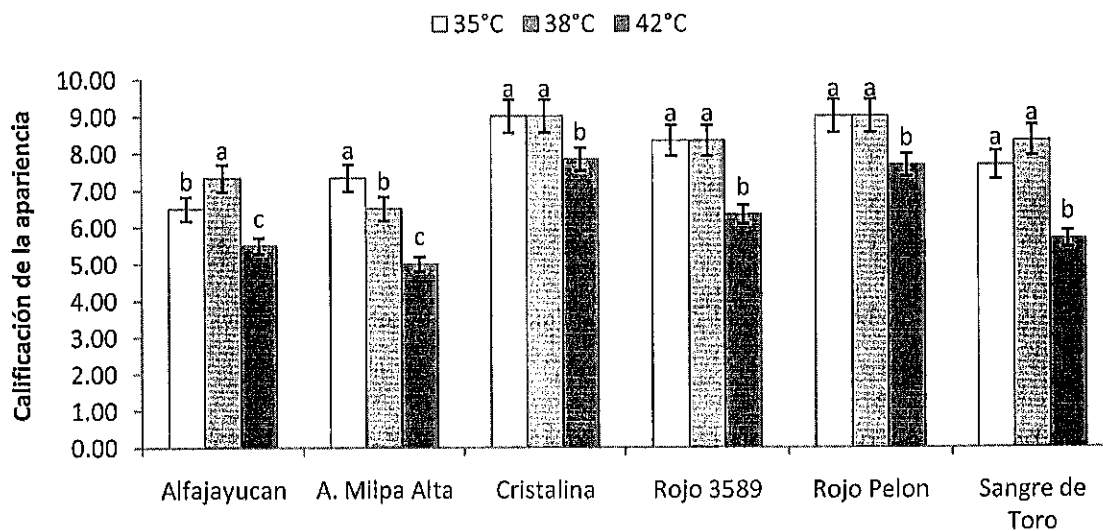


Figura 72. Efecto de la temperatura de tratamiento en seis variedades de frutos de tuna sobre la apariencia durante 30 d a 10°C. 9= excelente, 7= buena, 5= aceptable, 3=pobre.



7.6 PUDRICIONES

Las variedades con menor presencia de pudriciones en frutos intactos fueron "Cristalina" y "Rojo Pelón" y la que tuvo mayor presencia fue "Sangre de Toro" (Figura 73). Estos resultados se relacionan con los encontrados en la apariencia donde a una menor presencia de pudriciones corresponde una mejor apariencia.

La frigoconservación después de 30 d a 10°C, tuvo un efecto importante sólo en la variedad "Sangre de Toro" (Figura 74), en las demás variedades las calificaciones entre frutos almacenados a temperatura ambiente y en refrigeración son muy similares.

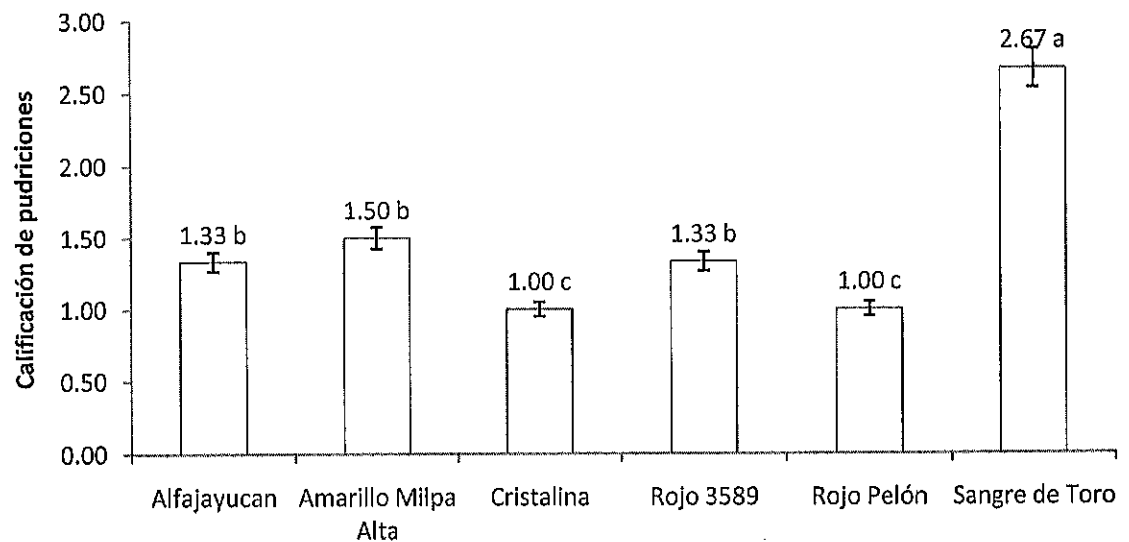


Figura 73. Calificación de las pudriciones en seis variedades de frutos de tuna durante 15 d de almacenamiento a temperatura ambiente. **1=sin presencia, 2=señal de presencia, 3= leve presencia, 4=moderada presencia y 5= daño severo.**

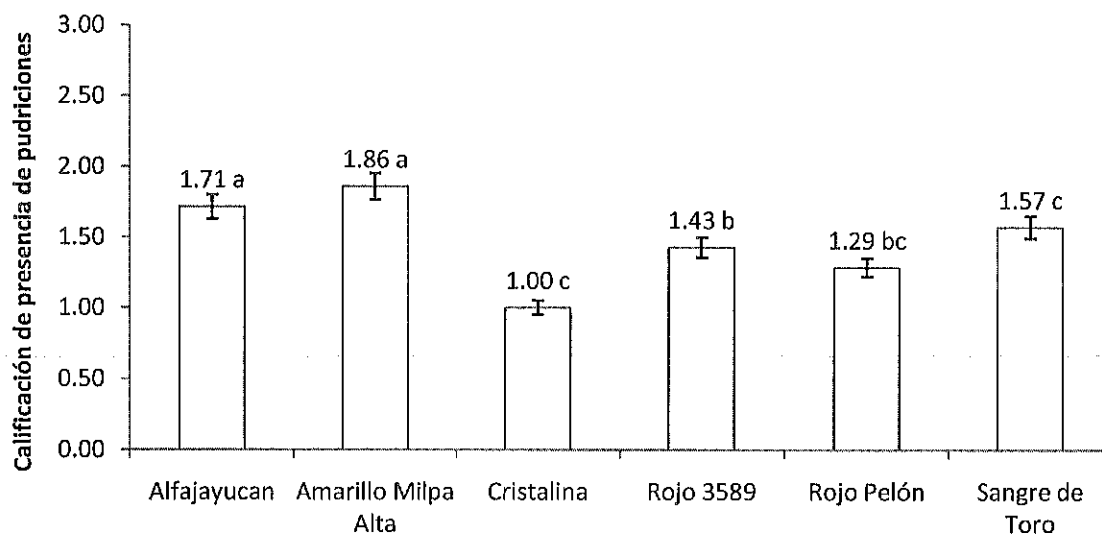


Figura 74. Calificación promedio de las pudriciones en seis variedades de frutos de tuna durante 30 d de almacenamiento a 10°C. **1=sin presencia, 2=señal de presencia, 3= leve presencia, 4=moderada presencia y 5= daño severo.**

El desespinado, en frutos almacenados por 15 d a temperatura ambiente, tuvo un efecto significativo en las variedades “Amarillo Milpa Alta” y Sangre de Toro” (Figura 75), provocando una reducción en la presencia de pudriciones, posiblemente esto se explique por un desespinado cuidadoso que implicó la limpieza y remoción de esporas de microorganismos patógenos.

La reducción de pudriciones por la remoción cuidadosa de espinas o ahuate se pudo observar aun después de 30 d a 10°C en todas las variedades, y esta reducción llegó a ser significativa entre ellas (Figura 76).

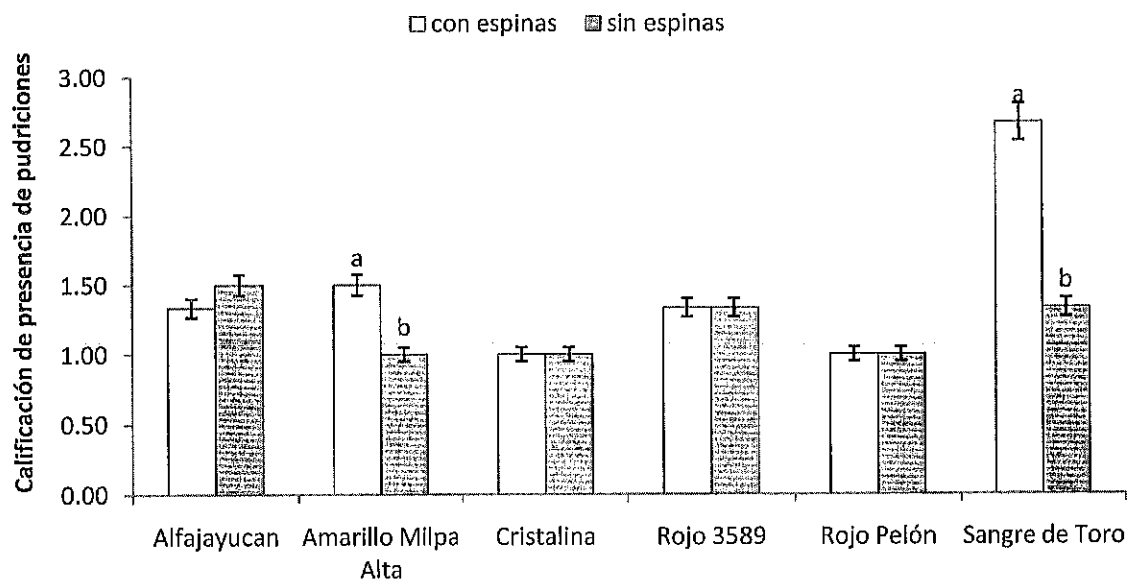


Figura 75. Comparación de la calificación promedio de las pudriciones de seis variedades de frutos de tuna con y sin espinas después de un almacenamiento por 15 d a temperatura ambiente. Barras sin letras son estadísticamente iguales. 1=sin presencia, 2=señal de presencia, 3= leve presencia, 4=moderada presencia y 5= daño severo.

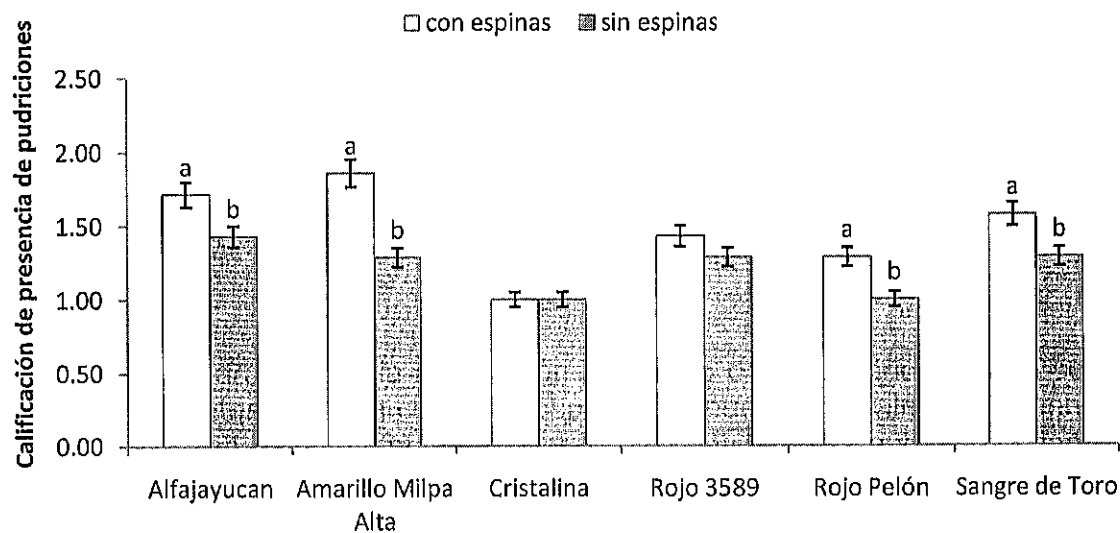


Figura 76. Comparación de la calificación promedio de las pudriciones de seis variedades de tuna entre frutos con y sin espinas después de un almacenamiento por 30 d a 10°C. Barras sin letras son estadísticamente iguales. 1=sin presencia, 2=señal de presencia, 3= leve presencia, 4=moderada presencia y 5= daño severo.

7.6.1 Efecto de los tratamientos con calor húmedo

Los tratamientos con calor húmedo afectaron de manera significativa la presencia de pudriciones en los frutos tratados a 42°C en las variedades "Alfajayucan" y "Amarillo Milpa Alta" (Cuadro 7). En las demás variedades, aunque hubo efecto significativo entre los tratamientos, no señaló a uno en específico como mejor o peor en la presencia de pudriciones. En frutos almacenados por 30 d a 10°C, la refrigeración nulificó el efecto de los tratamientos ya que inhibió el crecimiento microbiano (Cuadro 8).

Cuadro 7. Calificación promedio de presencia de pudriciones en seis variedades de frutos de tuna después de los tratamientos térmicos y almacenados durante 15 d a temperatura ambiente.

Tratamiento	"Alfajayucan"	"Amarillo Milpa Alta"	"Cristalina"	"Rojo 3589"	"Rojo Pelón"	"Sangre de Toro"
TD	1.50 ^{cd}	1.00 ^c	1.00	1.33 ^{ab}	1.00	1.33 ^{ab}
35°C X 12h	1.33 ^d	1.00 ^c	1.00	1.17 ^b	1.00	1.50 ^a
35°C X 24h	2.00 ^{bc}	1.17 ^{bc}	1.00	1.50 ^{ab}	1.00	1.50 ^a
38°C X 12h	1.33 ^d	1.50 ^{bc}	1.00	1.17 ^b	1.00	1.00 ^b
38°C X 24h	2.00 ^{bc}	1.33 ^{bc}	1.00	1.00 ^b	1.00	1.17 ^b
42°C X 12h	2.17 ^{ab}	1.83 ^a	1.00	1.33 ^{ab}	1.00	1.33 ^{ab}
42°C X 24h	2.50 ^a	1.67 ^{ab}	1.33	1.83 ^a	1.33	1.50 ^a

*= 1=sin presencia, 2=señal de presencia, 3= leve presencia, 4=moderada presencia y 5= daño severo. TD= Testigo desespinado. Para cada variedad las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey; $\alpha=0.05$).



Cuadro 8. Calificación promedio de presencia de pudriciones en seis variedades de frutos de tuna después de los tratamientos térmicos y almacenados durante 30 d a 10 ° C.

Tratamiento	"Alfajayucan"	"Amarillo Milpa Alta"	"Cristalina"	Rojo 3589	"Rojo Pelón"	"Sangre de Toro"
TD	1.43 ^{ab}	1.29 ^{ab}	1.00	1.29	1.00	1.29 ^{ab}
35°C X 12h	1.43 ^{ab}	1.14 ^b	1.00	1.00	1.00	1.00 ^b
35°C X 24h	1.43 ^{ab}	1.14 ^b	1.00	1.14	1.14	1.29 ^{ab}
38°C X 12h	1.14 ^b	1.43 ^{ab}	1.00	1.00	1.00	1.14 ^{ab}
38°C X 24h	1.14 ^b	1.57 ^{ab}	1.00	1.14	1.00	1.29 ^{ab}
42°C X 12h	1.29 ^{ab}	1.43 ^{ab}	1.00	1.29	1.00	1.29 ^{ab}
42°C X 24h	1.57 ^{ab}	1.57 ^{ab}	1.00	1.43	1.29	1.29 ^{ab}

*= 1=sin presencia, 2=señal de presencia, 3= leve presencia, 4=moderada presencia y 5= daño severo. TD= Testigo desespinado. Para cada variedad las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey; $\alpha=0.05$).

7.6.2 Efecto del tiempo de exposición al calor húmedo y temperatura de tratamiento

Después de quince d de almacenamiento a temperatura ambiente las pudriciones se incrementaron con el mayor tiempo de exposición al calor húmedo (24 h), de manera significativa en las variedades "Alfajayucan" y "Rojo 3589" (Figura 77).

La temperatura de 42 °C fue la que causó mayor presencia de pudriciones, excepto en la variedad "Sangre de Toro". Para "Alfajayucan", "Cristalina" y "Rojo Pelón" no hubo diferencia significativa entre 35 y 38°C en cuanto a la presencia de pudriciones (Figura 78). En frutos refrigerados se presentan las mismas tendencias de resultados, aunque la figroconservación minimizó los efectos por el tiempo de exposición y la temperatura de tratamiento (Figura 79 y 80).



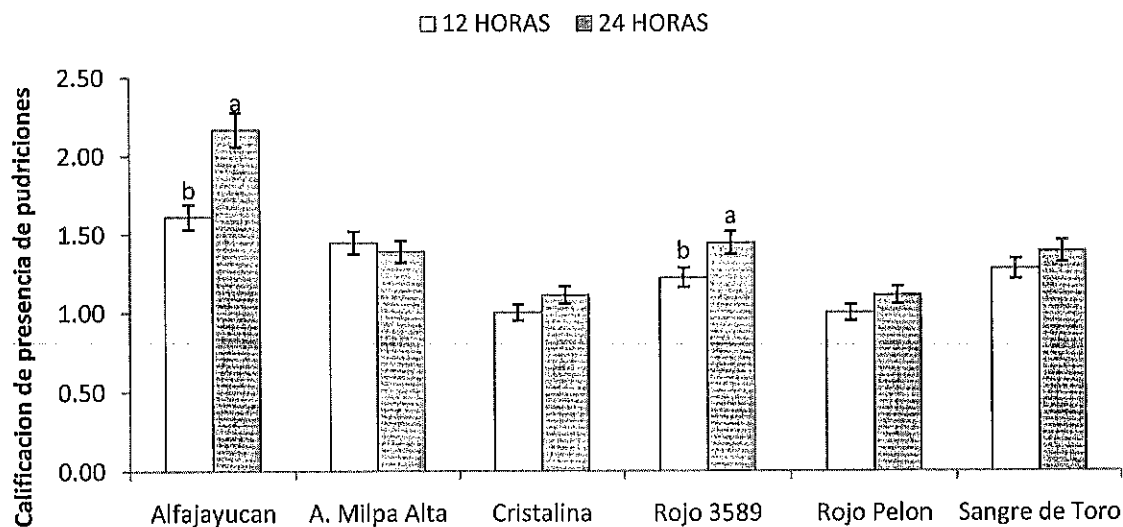


Figura 77. Efecto del tiempo de exposición al calor húmedo en seis variedades de frutos de tuna sobre la presencia de pudriciones después 15 d a temperatura ambiente. Barras sin letras son estadísticamente iguales. 1=sin presencia, 2=señal de presencia, 3= leve presencia, 4=moderada presencia y 5= daño severo.

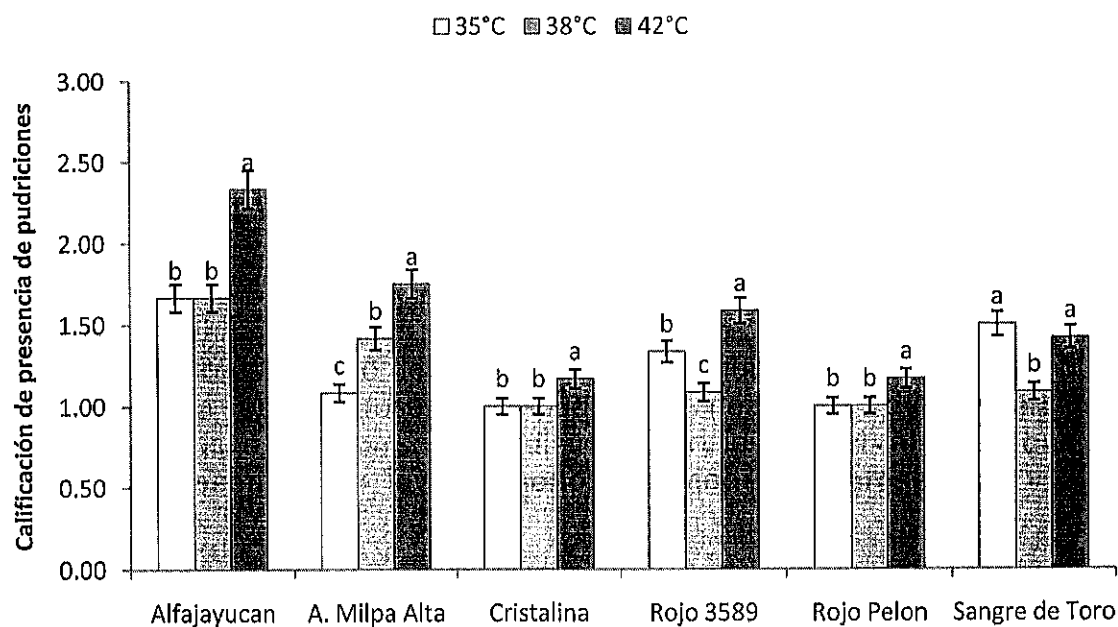


Figura 78. Efecto temperatura de tratamiento en seis variedades de frutos de tuna sobre la presencia de pudriciones después 15 d a temperatura ambiente. 1=sin presencia, 2=señal de presencia, 3= leve presencia, 4=moderada presencia y 5= daño severo.

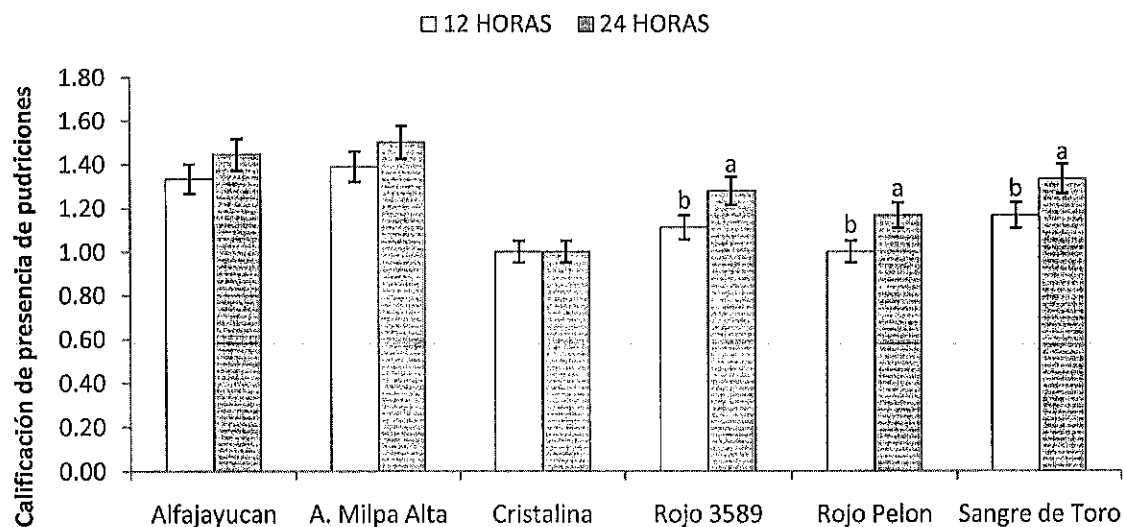


Figura 79. Efecto del tiempo de exposición al calor húmedo en seis variedades de frutos de tuna sobre la presencia de pudriciones después 30 d a 10°C. Barras sin letras son estadísticamente iguales. 1=sin presencia, 2=señal de presencia, 3= leve presencia, 4=moderada presencia y 5= daño severo.

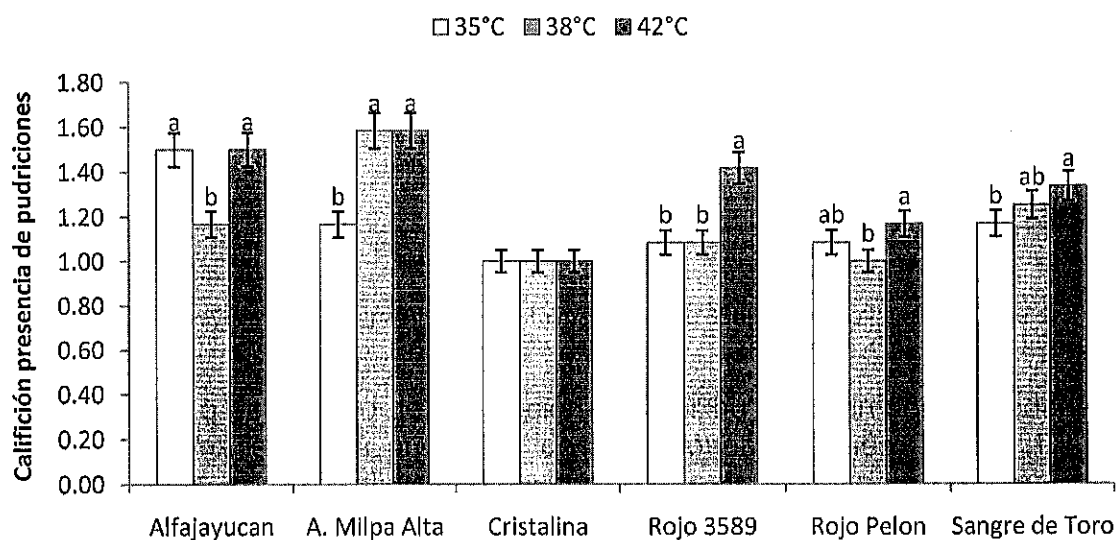


Figura 80. Efecto temperatura de tratamiento en seis variedades de frutos de tuna sobre la presencia de pudriciones después 30 d a 10°C. Barras sin letras son estadísticamente iguales. 1=sin presencia, 2=señal de presencia, 3= leve presencia, 4=moderada presencia y 5= daño severo.



En síntesis, al comparar el arreglo o reacomodo de las capas de cera epicuticular de las variedades de tuna analizadas con la variables respuesta se encontró una relación entre el alisado de las ceras provocado por los tratamientos térmicos con una menor pérdida de peso del fruto durante los periodos de evaluación, también se encontró relación entre el alisado con una menor presencia de pudriciones y mejor apariencia a lo largo de los tiempos de evaluación. Para las variables de tasa de respiración y grosor de cutícula no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos y los testigos.

En estudios similares como los de Schirra *et al.* (1996, 1997, 1999), no se encontraron diferencias entre la apariencia, sabor, y firmeza después de un tratamiento térmico (38°C por 24 h), y si reportaron una reducción en los daños por frio después de almacenados por cuatro semanas a 6°C. También reportaron un cambio mínimo en la tasa de respiración, como sucedió en el presente estudio; cabe mencionar que al evaluar más variedades, algunas de estas no presentaron cambios significativos.

No en todas las variedades se recomienda el tratamiento térmico ya que algunas naturalmente son muy resistentes como es el caso de las variedades "Cristalina" y "Rojo Pelón", no así "Alfajayucan", "Amarillo Milpa Alta", "Rojo 3589" y "Sangre de Toro", donde se presentaron diferencias significativas comparadas con los testigos. Es importante mencionar que cada variedad presenta un óptimo en temperatura y tiempo, esto visto económicamente podría

representar un ahorro al aplicar menos temperatura y menos tiempo con resultados estadísticamente iguales.

De los resultados obtenidos podemos evidenciar las diferencias entre las variedades que existen en México, y que presentaron resultados diferentes a diversas temperaturas y tiempos, debido en parte al arreglo de las capas de ceras epicuticulares que se logran después de cada tratamiento, y que éstas diferencias son propias de cada variedad.

En este sentido, se debe de continuar estudiando más variedades, probablemente la diferencia composicional de las ceras también influya y varíe entre variedades. También se han demostrado los beneficios de los tratamientos térmicos y no sólo en tuna, si no en diversos frutos, con resultados positivos en la prolongación de la vida postcosecha, por tal motivo también se debe de seguir investigando la manera más eficiente de aplicar los tratamientos térmicos.



8. CONCLUSIONES

En frutos no tratados con calor húmedo (testigos) de las seis variedades, se observó capas de cera lisa y fracturada, sin grandes diferencias entre variedades.

En frutos tratados con calor húmedo se causó un reacomodo de las capas de cera epicuticular, además, los resultados obtenidos indican que los tratamientos térmicos reducen la pérdida de peso, mejoran la apariencia y que estas respuestas están relacionadas con el reacomodo y cada variedad presenta respuestas diferentes, de acuerdo a sus características intrínsecas.

Los tratamientos con los que se obtuvo la menor pérdida de peso fueron 35°C por 24 h para "Amarillo Milpa Alta", 38°C por 12 h para "Alfajayucan", "Cristalina" y "Rojo Pelón", y 38°C por 24 h para "Sangre de Toro".

Se obtuvieron bajas tasas de respiración y no significaron cambios importantes antes y después de cada tratamiento.

El grosor de la cutícula aumentó o disminuyó en función de la temperatura y variedad, y sólo "Rojo 3589" tuvo una reducción consistente, es decir, a mayor temperatura mayor reducción.

La apariencia se conservó mejor considerablemente en la variedad "Cristalina" tratada a 35 ó 38°C por 12 ó 24 h. En otras variedades la apariencia se conservó sólo en algunos tratamientos, "Alfajayucan" a 38°C por 12 h, "Amarillo Milpa Alta" a 35°C por 12 ó 24 h, "Rojo Pelón" y "Sangre de Toro" a 38°C por 12 ó 24 h, lo que es consistente con las variedades y tratamientos con menor pérdida de peso.

La presencia de pudriciones no se afecta contundentemente por los tratamientos térmicos, aunque si hubo diferencias significativas entre variedades, "Rojo Pelón" y "Cristalina" fueron las que menos presencia de pudriciones presentaron.

9. BIBLIOGRAFÍA

Barthlott W, C Neinhuis, D Cutler, F Ditsch, I Meusel, I Theisen, H Wilhelmi. 1998.

Classification and terminology of plant epicuticular waxes. Botanical Journal of the Linnean Society. 126 (3): 237-260

Cantwell M. 1991. Quality and postharvest physiology of nopalitos and tunas. Proc.

Second Annual Texas Prickly Pear conference. Texas prickly pear council. Mc Allen, Texas. pp 50-66

Commenil P, L Brunet, J Audran. 1997. The development of the grape berry cuticle

in relation with susceptibility to bunch rots disease. J. Exp. Bot. 48: 1599-1607

Commenil P, L Brunet, J Audran. 1997. The development of the grape berry cuticle

in relation with susceptibility to bunch rots disease. J. Exp. Bot. 48: 1599-1607

Corrales G J, C Flores-Valdez. 2003. Nopalitos y tunas: producción,

comercialización, postcosecha e industrialización. Universidad Autónoma Chapingo. México.



Corrales G J, F Franco Moreno, J Rodríguez Campos. 2006. Fruit characterization of twenty accessions of cactus pear (*Opuntia spp.*) II. Changes in post-harvest. Acta Hort. (ISHS) 728:205-210

Corrales G J, J Andrade-Rodriguez, E Bernabé-Cruz. 1997. Response of six cultivars of tuna fruits to cold storage. Journal of the professional association for cactus development. Vol 2:160-168

Corrales G.J. 1992. Descripción y análisis de la cosecha y del manejo en fresco de nopalito y tuna. Memoria de resúmenes del 5to congreso nacional y 3er congreso internacional "Conocimiento y aprovechamiento del nopal". Universidad Autónoma Chapingo. México.

D'hallewin G, M Schirra, E Manueddu. 1999. Effect of heat on epicuticular wax of cactus pear fruit. Tropical Science. 3:244-247.

Granata G.1995. Biotic and Abiotic diseases. In: Barbera G., Inglese P., and Pimienta-Barrios P. Cultivation and uses of cactus pear. FAO.

Heredia A. 2003. Biophysical and biochemical characteristics of cutin a plant barrier biopolymer. Bioch Biophys. Acta 1620:1-7



Inglese P, F Basile, M Schirra. 2002. Cactus pear fruit production. In: Cacti: Biology and Uses. Park S. Nobel (ed.). University of California Press. California, USA. Cap 10: 163-183.

Jeffrey C. 1996. Structure and ontogeny of plant cuticles. In: Plant cuticles: An integrated functional Approach. G. Kerstiens (ed). Oxford: Bios scientific publishers. Pp: 33-82

Jenks M, S Eigenbrode, B Lemieux. 2002. Cuticular waxes of *Arabidopsis*. Journal Cell Biology. 17:208-212

Kader A. A. 2005. Cactus (Prickly) Pear: Recommendations for Maintaining Postharvest Quality. Postharvest Technology Research & Information Center. Department of Plant Sciences, University of California, Davis, CA.

Knoche M, M Beyer, S Peshel, B Oparlakov, M Bukovac. 2004. Changes in strain and deposition of cuticle in developing sweet Cherry fruit. Physiology Plant. 120:667-677

Kolattukudy P. 1996. Biosynthetic pathways of cutin and waxes, and sensitivity to environmental stresses. In: Plant cuticles. G Kersteins (ed). Oxford: BIOS Scientific Publishers. Pp: 83-108



- Kunts A., Samuels L. 2003. Biosynthesis and secretion of plant cuticular wax. *Progr. Lipid Res.* 42:51-80
- López-Bernal M. 2001. Evaluación de películas plásticas sobre la calidad de la tuna (*Opuntia spp.*) mínimamente procesada bajo condiciones de refrigeración. Tesis de maestría en ciencias en fruticultura. Colegio de postgraduados.
- Lurie S. 1998. Postharvest heat treatments of horticultural crops. *Horticultural reviews* 22: 92-121
- Méndez G, García H. 2006. La tuna producción y diversidad. *Biodiversitas*. 68: 2-5
- Petit-Jiménez D, A González-León, G González-Aguilar, R Sotelo-Mundo, R Báez-Sañudo. 2007. Cambios de la cutícula durante la ontogenia del fruto de *Mangifera indica* L. *Rev. Fitotec. Mex.* 30(1): 51-60
- Pimienta-Barrios E, P Nobel. 1995. Reproductive characteristics of pitaya (*Stenocereus queretaroensis*) and their relationship with soluble sugars and irrigation. *Journal of the American Society of Horticultural Science* 120:1082-1086.
- Pratt H K, D B Mendoza. 1979. Calorimetric Determination of Carbon Dioxide for Respiration Studies. *HortScience* 14(2):175-176



- Rogiers S, J Hatfield, V Gunta, R White, M Keller. 2004. Grape berry cv. Shiraz epicuticular wax and transpiration during ripening and preharvest weight loss. *Amer. J. Enol. Vitic.* 55: 2023-2032
- Ruzin S. 1999. *Plant microtechnique and microscopy*. Oxford University Press. Oxford. UK. 1999. 322 p
- Schirra M, D'Hallewin G, Inglese P, T La Mantia. 1999. Epicuticular changes and storage potential of cactus pear (*Opuntia ficus-indica* Millar (L.)) fruit following giberellic acid preharvest sprays and postharvest heat treatment. *Postharvest Biology and Technology*. 17:79-88.
- Schirra M, G Barbera, S D'Aquino, T L Mantia, R McDonald. 1996. Hot dips and high-temperature conditioning to improve shelf quality of late-crop cactus pear fruit. *Tropical Science*. 36:159-165.
- Schirra M, M Agabbio, S D'Aquino, T McCollum. 1997. Postharvest heat conditioning effects on early ripening "Gialla" cactus pear Fruit. *HortScience*. 32(4): 702-704
- Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON). 2006. *Producción Agrícola Nacional por Entidad Federativa de los años 1980 a 2006*.



Veraberveke E, P Verboven, P Van, B Nicolai. 2003. Prediction of moisture loss across the cuticle of Apple (*Malus sylvestri subsp Mitis* (Wallr)) during storage. Part 1. Model development and determination of diffusion coefficients. Postharvest Biology and Technology. 30:75-88

Wagner P, R Furstner, W Barthlott, C Neinhuis. 2003. Quantitative assessment to the structural basis of water repellency in natural and technical surfaces. J. Exp. Bot. 54: 1-9

Wiedermann P, C Neinhuis. 1998. Biomechanics of isolated plant cuticles. Bot. Act. 111:28-34



APENDICE 1

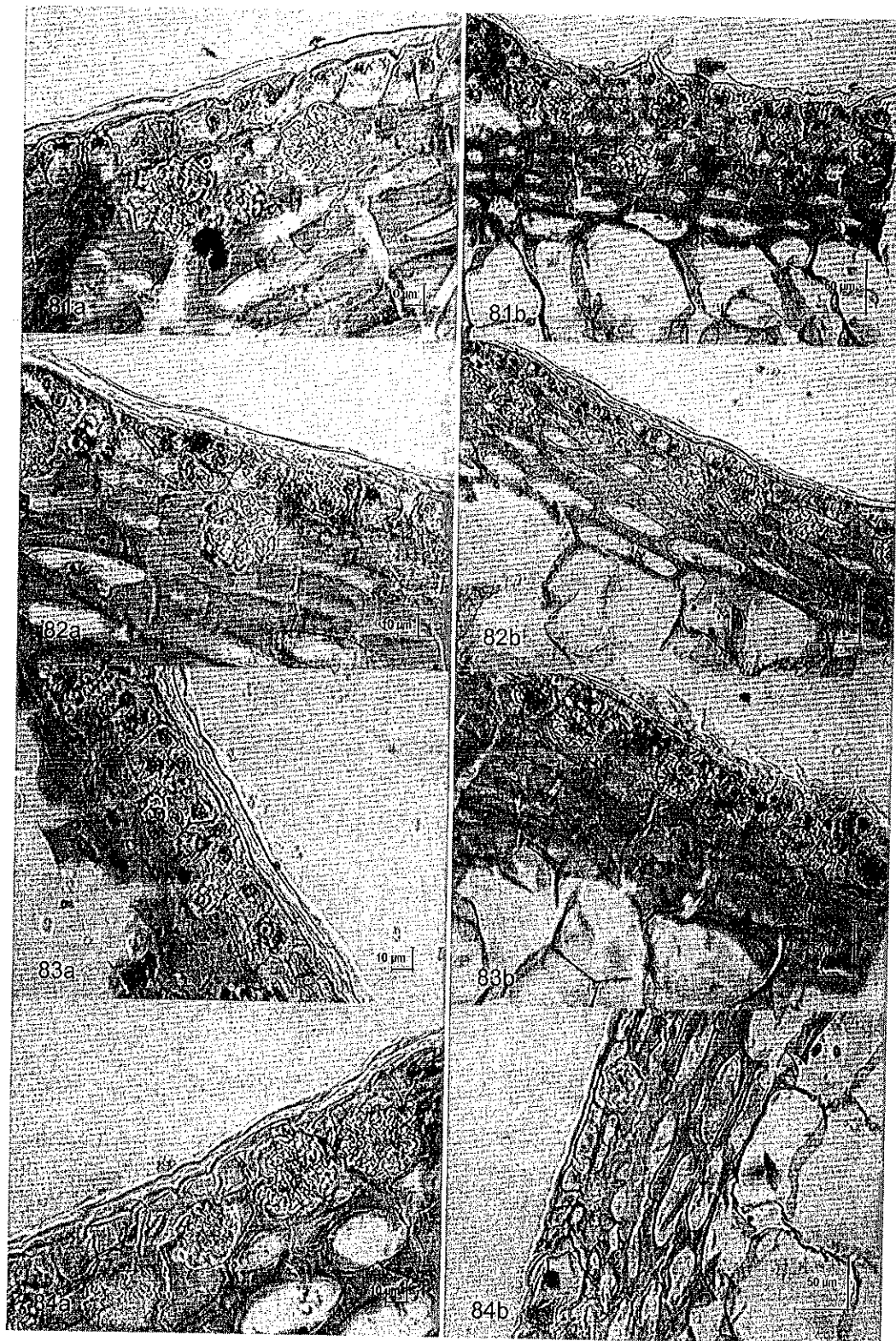


Figura 81-84. Cortes Transversales de la cáscara de la variedad "Alfajayucan". Fig 81. Testigo con espinas. Fig 82. Testigo desespinado. Fig 83. 35°C por 12 h. Fig 84. 35°C por 24 h. Escala de la barra: a=10µm, b=50µm



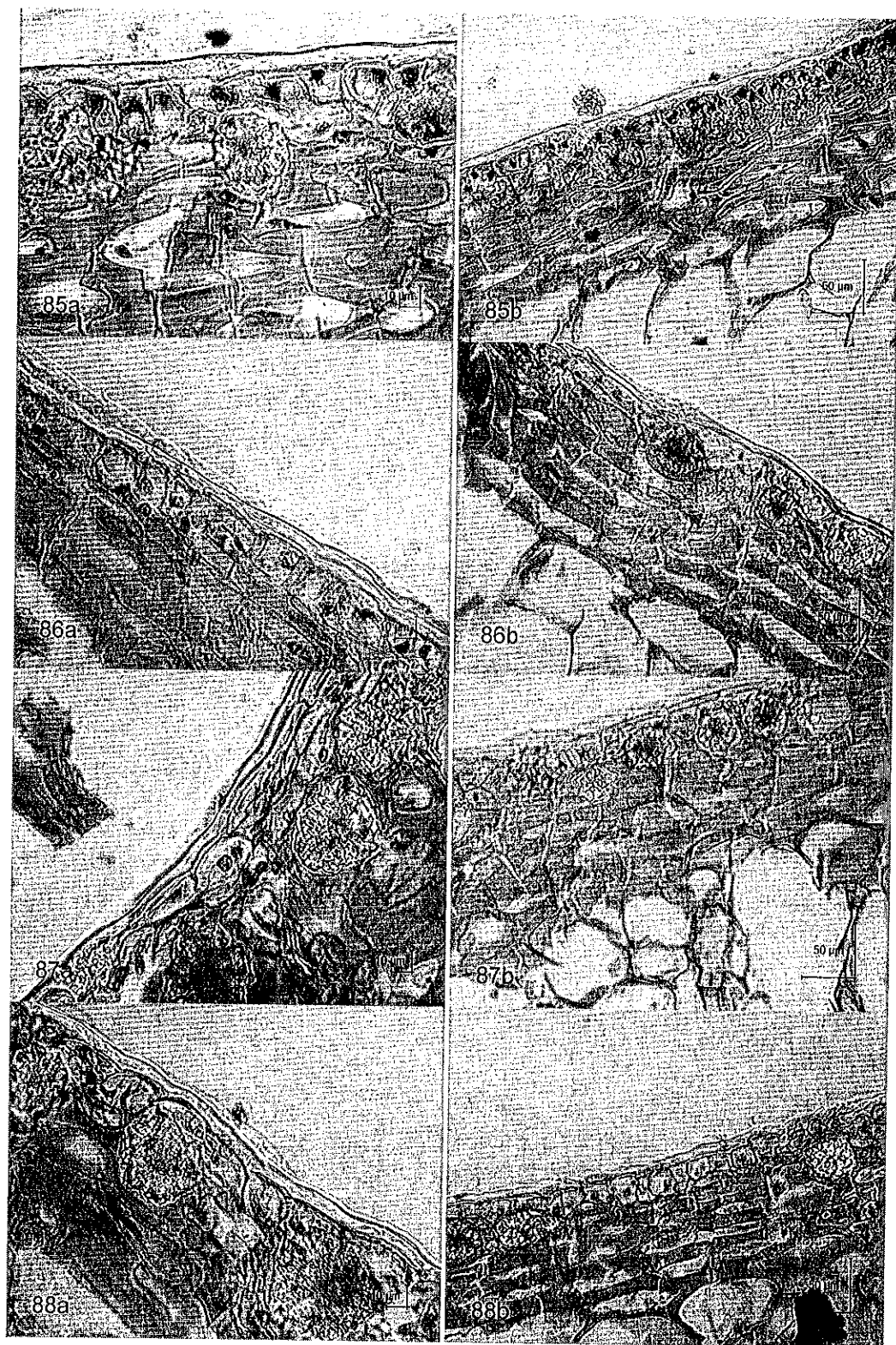


Figura 85-88. Cortes transversales de la cáscara de la variedad "Alfajayucan". Fig 85. 38°C por 12 h. Fig 86. 38°C por 24 h. Fig 87. 42°C por 12 h. Fig 88. 42°C por 24 h. Escala de la barra: a=10μm, b=50μm

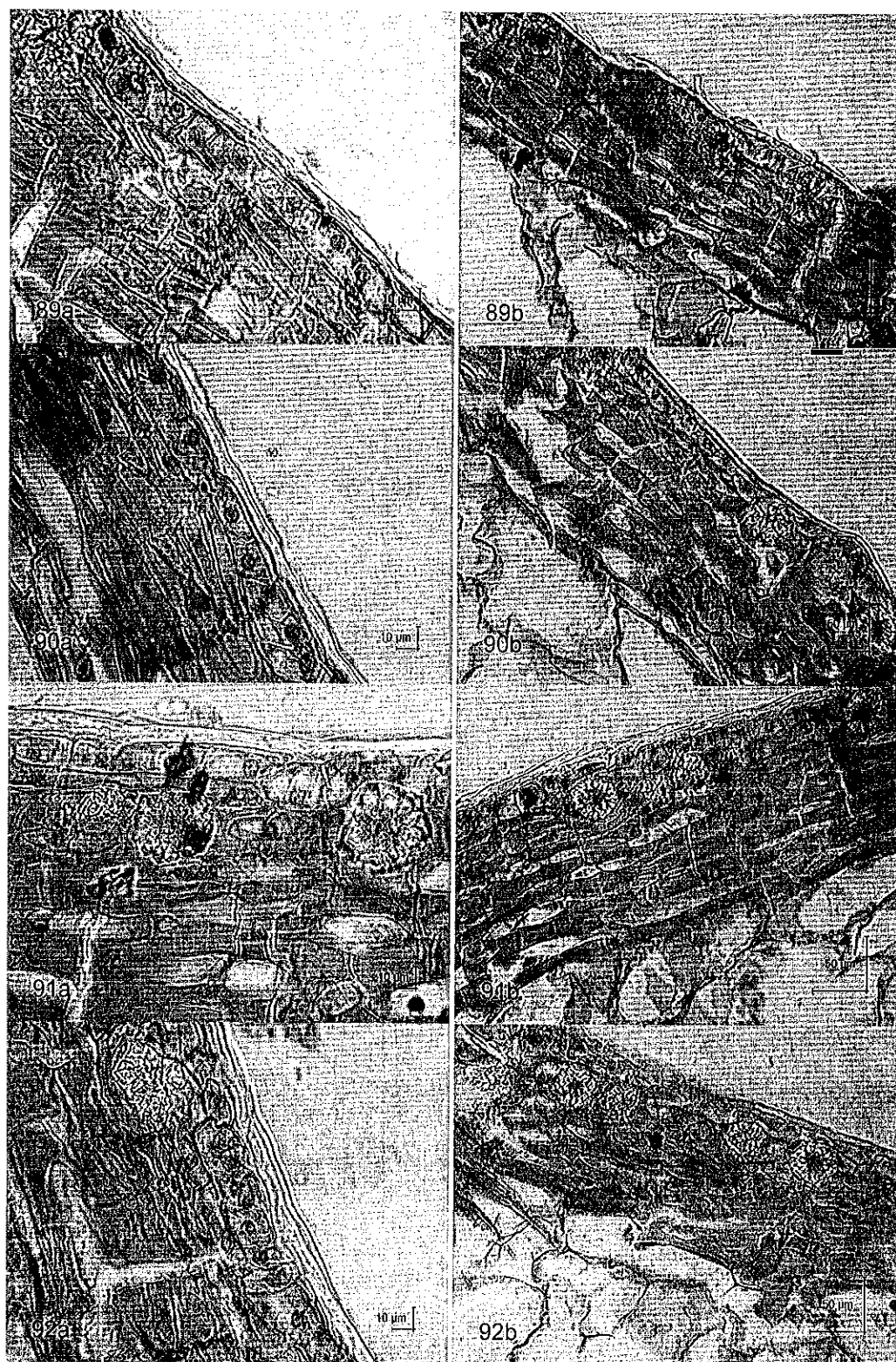


Figura 89-92. Cortes Transversales de la cáscara de la variedad "**Amarillo Milpa Alta**". Fig 89. Testigo con espinas. Fig 90. Testigo desespinado. Fig 91. 35°C por 12 h. Fig 92. 35°C por 24 h. Escala de la barra: a=10μm, b=50μm



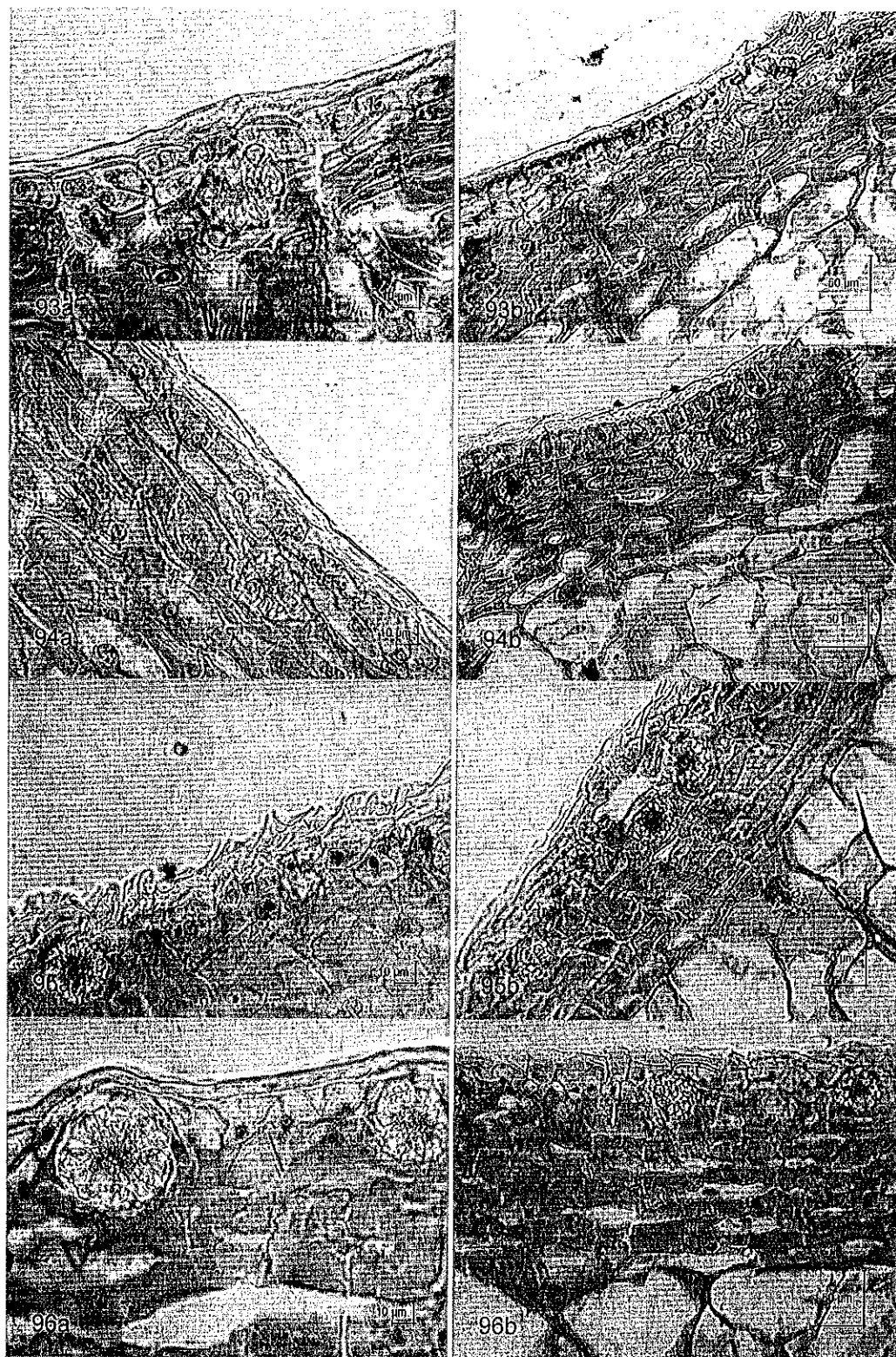


Figura 93-96. Cortes transversales de la cáscara de la variedad "**Amarillo Milpa Alta**". Fig 93. 38°C por 12 h. Fig 94. 38°C por 24 h. Fig 95. 42°C por 12 h. Fig 96. 42°C por 24 h. Escala de la barra: a=10μm, b=50μm

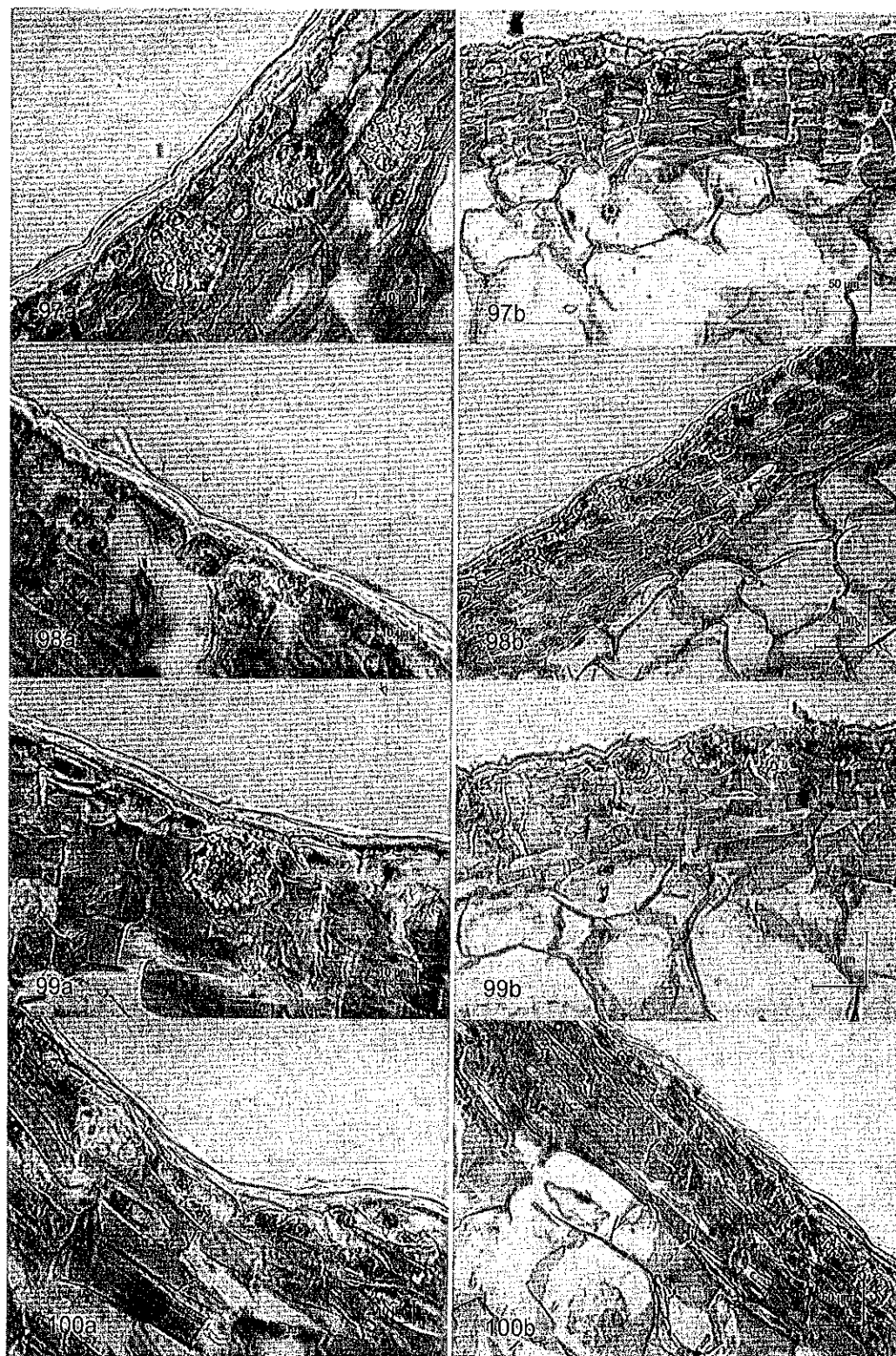


Figura 97-100. Cortes Transversales de la cáscara de la variedad "Cristalina". Fig 97. Testigo con espinas. Fig 98. Testigo desespinado. Fig 99. 35°C por 12 h. Fig 100. 35°C por 24 h. Escala de la barra: a=10μm, b=50μm



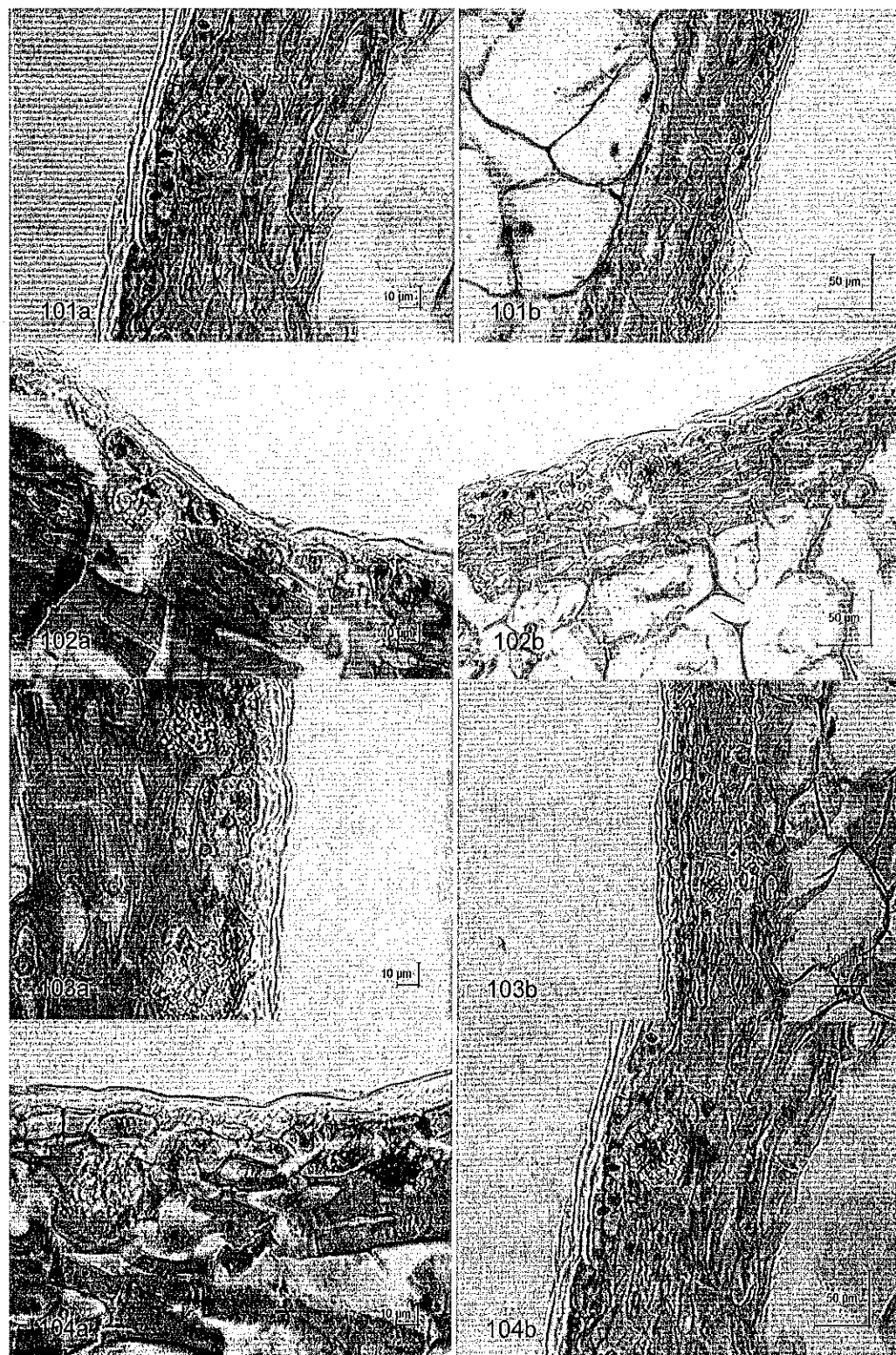


Figura 101-104. Cortes transversales de la cáscara de la variedad "Cristalina". Fig 101. 38°C por 12 h. Fig 102. 38°C por 24 h. Fig 103. 42°C por 12 h. Fig 104. 42°C por 24 h. Escala de la barra: a=10μm, b=50μm



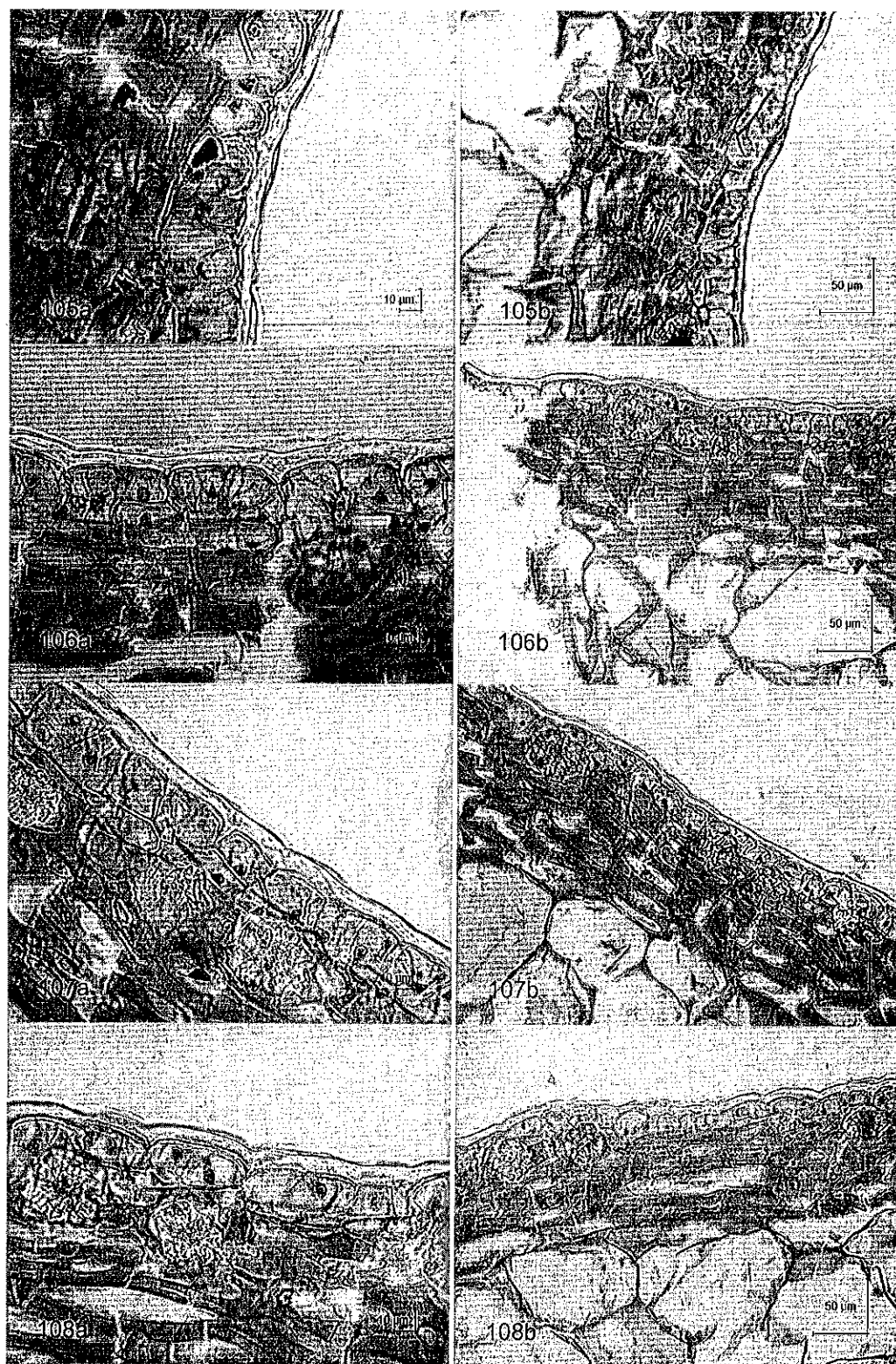


Figura 105-108. Cortes Transversales de la cáscara de la variedad "Rojo 3589". Fig 105. Testigo con espinas. Fig 106. Testigo desespinado. Fig 107. 35°C por 12 h. Fig 108. 35°C por 24 h. Escala de la barra: a=10μm, b=50μm

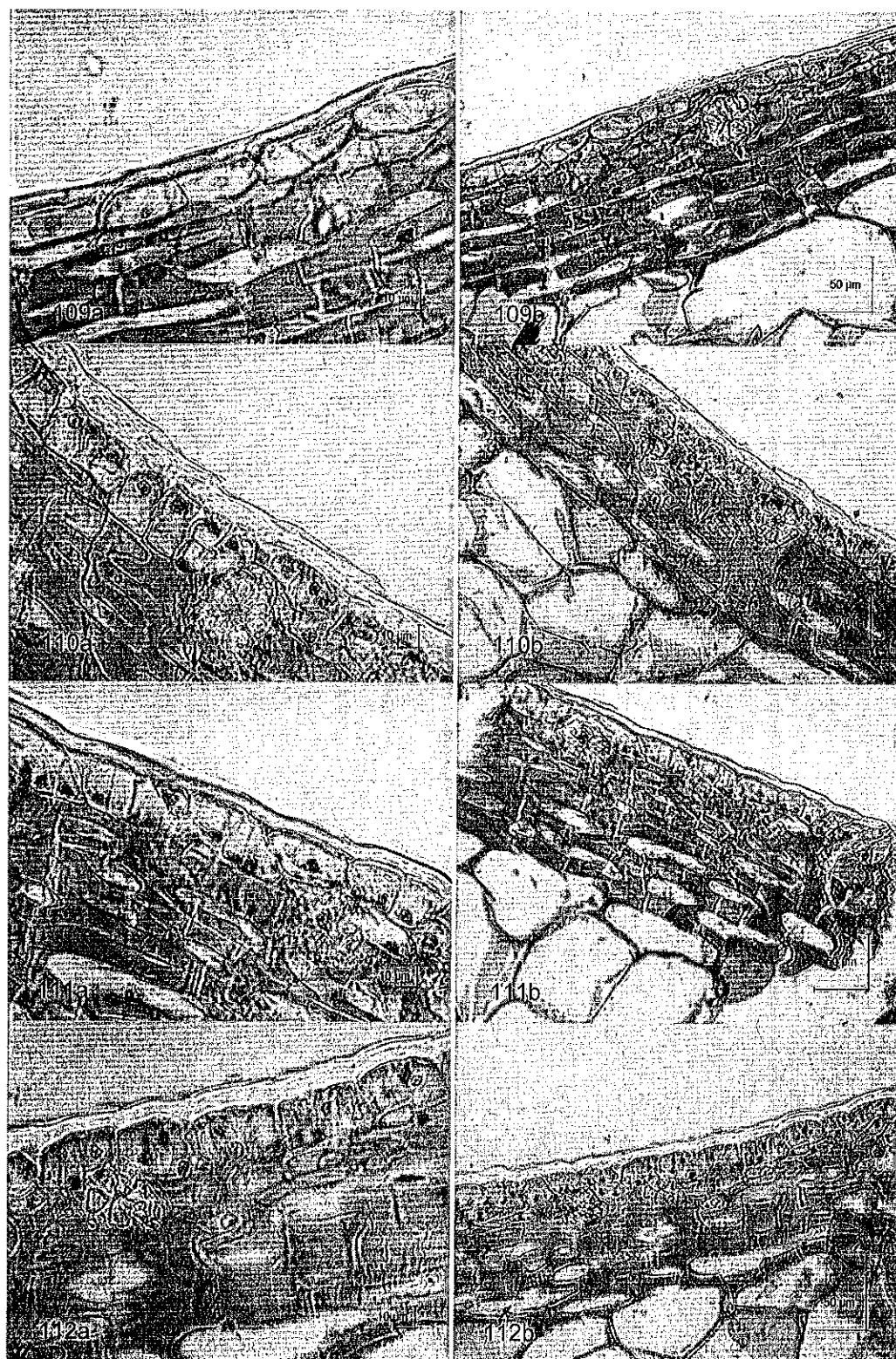


Figura 109-112. Cortes transversales de la cáscara de la variedad "Rojo 3589". Fig 109. 38°C por 12 h. Fig 110. 38°C por 24 h. Fig 111. 42°C por 12 h. Fig 112. 42°C por 24 h. Escala de la barra: a=10μm, b=50μm



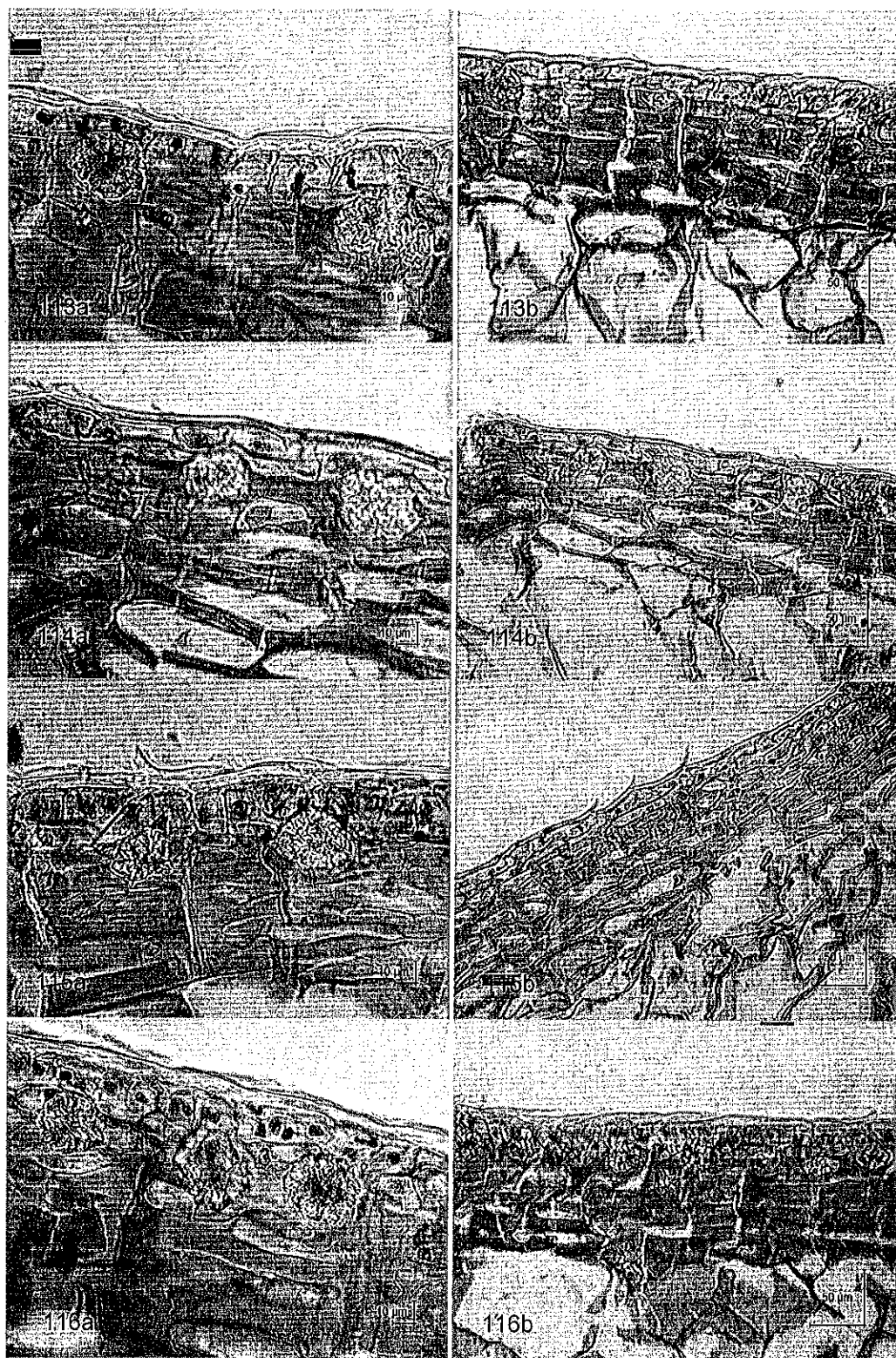


Figura 113-116. Cortes Transversales de la cáscara de la variedad "Rojo Pelón". Fig 113. Testigo con espinas. Fig 114. Testigo desespinado. Fig 115. 35°C por 12 h. Fig 116. 35°C por 24 h. Escala de la barra: a=10µm, b=50µm

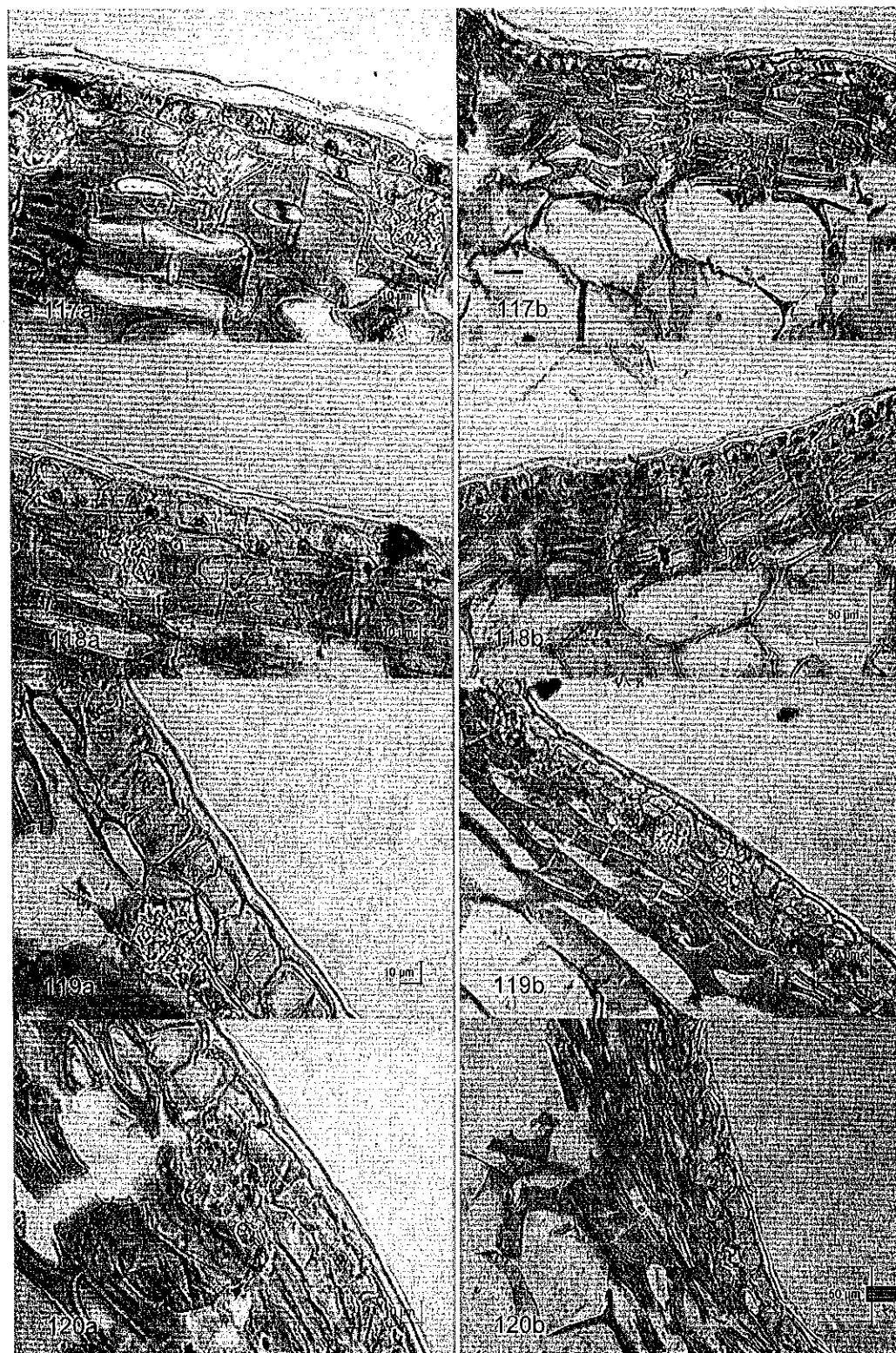


Figura 117-120. Cortes transversales de la cáscara de la variedad “**Rojo Pelón**”. Fig 117. 38°C por 12 h. Fig 118. 38°C por 24 h. Fig 119. 42°C por 12 h. Fig 120. 42°C por 24 h. Escala de la barra: a=10μm, b=50μm



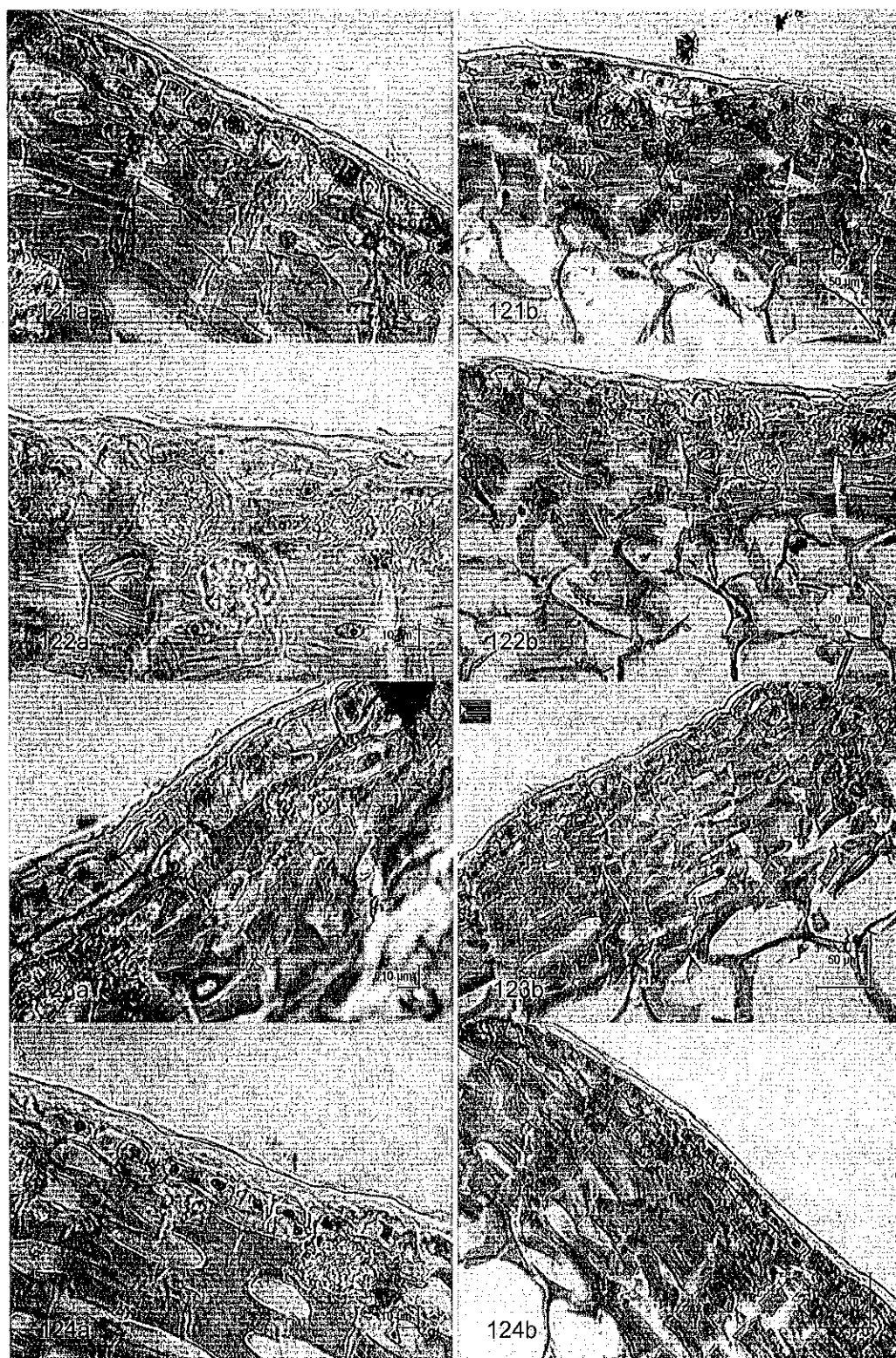


Figura 121-124. Cortes Transversales de la cáscara de la variedad "**Sangre de Toro**". Fig 121. Testigo con espinas. Fig 122. Testigo desespinado. Fig 123. 35°C por 12 h. Fig 124. 35°C por 24 h. Escala de la barra: a=10μm, b=50μm



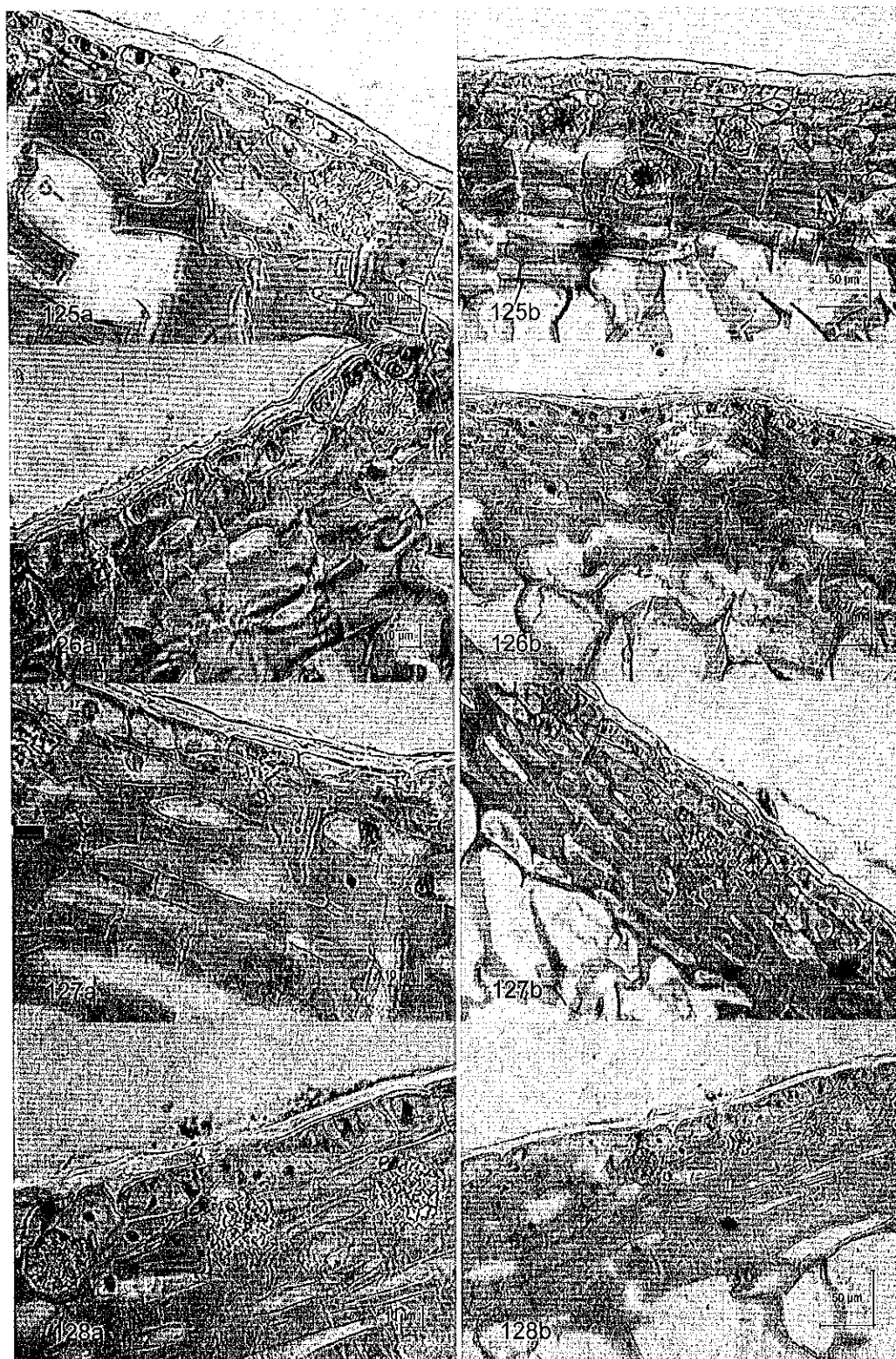


Figura 125-128. Cortes transversales de la cáscara de la variedad "**Sangre de Toro**". Fig 125. 38°C por 12 h. Fig 126. 38°C por 24 h. Fig 127. 42°C por 12 h. Fig 128. 42°C por 24 h. Escala de la barra: a=10μm, b=50μm