

Universidad de Costa Rica  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Agrícola

**Dinámica de la pérdida de peso en hortalizas de hoja  
durante el almacenamiento**

---

**Trabajo final de graduación para optar por el grado  
de Licenciatura en Ingeniería Agrícola**

**José Andrés Quirós Martínez – Carné A54444**

**CIUDAD UNIVERSITARIA RODRIGO FACIO, COSTA RICA**

**2016**

DINÁMICA DE LA PÉRDIDA DE PESO EN HORTALIZAS DE HOJA  
DURANTE EL ALMACENAMIENTO

Este trabajo final de graduación tesis fue sometido a revisión por la Comisión de Trabajos Finales de Graduación de la Escuela de Ingeniería Agrícola de la Universidad de Costa Rica, como requisito para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería Agrícola.

---

José Andrés Quirós Martínez

Estudiante

---

Dra. Marta Montero Calderón

Directora de Tesis

---

María del Milagro Cerdas Araya, MSc.

Lectora

---

Ing. Geovanni Carmona Villalobos

Lector

---

Ing. Juan Roberto Mora

Miembro Tribunal Examinador

---

Dra. Kattia Solís Ramírez

Miembro Tribunal Examinador

## AGRADECIMIENTOS

*Al finalizar esta etapa deseo externar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que se involucraron en la investigación y elaboración del presente documento; a mi familia, en especial a mis padres quienes fueron la base y el sustento durante esta larga etapa que hoy culmina - **Esto es para y por ustedes** - .*

*A doña Marta Montero, por todo su empeño, guía y el conocimiento transmitido durante la elaboración de este proyecto así como su aporte en cuanto a mi crecimiento académico y personal. A la Vicerrectoría de Investigación, la Escuela de Ingeniería Agrícola y el Laboratorio de Tecnología Poscosecha del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica, por el financiamiento y participación en el proyecto. Un agradecimiento especial al personal del laboratorio, que siempre se mostró atento y dispuesto a brindar ayuda. Finalmente a Esteban Altamirano, Luis Carlos Alfaro, Royner Abarca, Javier Marín y Bryan Calderón quienes sacrificaron sus fines de semana para colaborar con la toma de datos.*

## INDICE GENERAL

INDICE DE CUADROS .....	v
INDICE DE FIGURAS .....	viii
GLOSARIO DE TÉRMINOS .....	xiii
RESUMEN .....	xiv
JUSTIFICACIÓN .....	1
1. INTRODUCCIÓN .....	3
2. OBJETIVOS .....	6
3. MARCO TEÓRICO .....	7
4. MATERIALES Y METODOLOGÍA.....	17
<i>Ensayo 1. Efecto de la temperatura y la HR sobre la pérdida de peso, el coeficiente de transpiración y la calidad de la lechuga durante el almacenamiento para producto con y sin raíz.....</i>	<i>17</i>
<i>Ensayo 2. Efecto del sistema de producción de lechuga sobre la pérdida de peso, el coeficiente de transpiración y la calidad durante el almacenamiento. ....</i>	<i>23</i>
<i>Ensayo 3. Evaluar el efecto de la velocidad del aire sobre la pérdida de peso y el coeficiente de transpiración.....</i>	<i>24</i>
<i>Ensayo 4. Caracterización comparativa del área foliar y atributos de calidad de cinco tipos de lechuga comercializadas en el mercado nacional.....</i>	<i>29</i>
5. RESULTADOS .....	32
<i>Ensayo 1. Efecto de la temperatura y la HR sobre la pérdida de peso, el coeficiente de transpiración y la calidad de la lechuga durante el almacenamiento para producto con y sin raíz.....</i>	<i>32</i>
<i>Ensayo 2. Efecto del sistema de producción de lechuga sobre la pérdida de peso, el coeficiente de transpiración y la calidad durante el almacenamiento. ....</i>	<i>52</i>
<i>Ensayo 3. Cuantificación del efecto de la velocidad del aire sobre la pérdida de peso y el coeficiente de transpiración.....</i>	<i>69</i>
<i>Ensayo 4. Caracterización comparativa del área foliar y atributos de calidad de cinco tipos de lechuga comercializadas en el mercado nacional.....</i>	<i>79</i>
6. CONCLUSIONES .....	87

7. RECOMENDACIONES.....	89
8. BIBLIOGRAFÍA.....	90
9. ANEXOS.....	93

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Coeficiente de transpiración para frutas y hortalizas frescas.....	13
Cuadro 2. Tolerancia máxima de pérdida de peso para diversos productos agrícolas .....	15
Cuadro 3. Condiciones de almacenamiento para los ensayos 1 y 2 y déficit de presiones de vapor entre la lechuga y el ambiente que la rodea. ....	19
Cuadro 5. Características del aire para túnel de secado en ensayo 3 .....	27
Cuadro 6. Detalle de equipos y variables respuesta para el ensayo 4.....	31
Cuadro 7. Condiciones reales de la cámara de secado durante el ensayo 3 .....	69
Cuadro A. 1. Efecto de la temperatura de almacenamiento y el corte de la raíz sobre la pérdida de peso acumulado de la lechuga.....	94
Cuadro A. 2. Efecto de la temperatura de almacenamiento y el corte de la raíz sobre el coeficiente de transpiración de la lechuga .....	95
Cuadro A. 3. Efecto de la temperatura de almacenamiento y el corte de la raíz sobre la apariencia fresca de la lechuga.....	96
Cuadro A. 4. Efecto de la temperatura de almacenamiento y el corte de la raíz sobre la turgencia de la lechuga.....	97
Cuadro A. 5. Efecto de la temperatura de almacenamiento y el corte de la raíz sobre el puntillado de nervaduras de la lechuga .....	98
Cuadro A. 6. Efecto de la temperatura de almacenamiento y el corte de la raíz sobre el daño en borde de hoja de la lechuga .....	99
Cuadro A. 7. Efecto de la temperatura de almacenamiento y el corte de la raíz sobre la crujencia de nervaduras de la lechuga.....	100
Cuadro A. 8. Efecto de la temperatura de almacenamiento y el corte de la raíz sobre la crujencia de hojas de la lechuga.....	101
Cuadro A. 9. Efecto de la temperatura de almacenamiento y el corte de la raíz sobre las pudriciones de la lechuga .....	102
Cuadro A. 10. Efecto de la temperatura de almacenamiento y el sistema de producción sobre la pérdida de peso acumulado de la lechuga .....	103
Cuadro A. 11. Efecto de la temperatura de almacenamiento y el sistema de producción sobre el coeficiente de transpiración de la lechuga.....	104

Cuadro A. 12. Efecto de la temperatura de almacenamiento y el sistema de producción sobre la apariencia fresca de la lechuga.....	104
Cuadro A. 13. Efecto de la temperatura de almacenamiento y el sistema de producción sobre la turgencia de la lechuga.....	106
Cuadro A. 14. Efecto de la temperatura de almacenamiento y el sistema de producción sobre el puntillado de nervaduras de la lechuga.....	107
Cuadro A. 15. Efecto de la temperatura de almacenamiento y el sistema de producción sobre el daño en borde de hoja de la lechuga.....	108
Cuadro A. 16. Efecto de la temperatura de almacenamiento y el sistema de producción sobre la crujencia de nervaduras de la lechuga.....	109
Cuadro A. 17. Efecto de la temperatura de almacenamiento y el sistema de producción sobre la crujencia de hojas de la lechuga.....	110
Cuadro A. 18. Efecto de la temperatura de almacenamiento y sistema de producción sobre las pudriciones de la lechuga.....	111
Cuadro A. 19. Efecto de la temperatura de almacenamiento y sistema de producción sobre el líquido acumulado de la lechuga.....	112
Cuadro A. 20. Efecto de la velocidad del aire sobre la pérdida de peso acumulado de la lechuga.....	113
Cuadro A. 21. Efecto de la velocidad del aire sobre el coeficiente de transpiración de la lechuga.....	113
Cuadro A. 22. Efecto de la velocidad del aire sobre la apariencia general de la lechuga.....	113
Cuadro A. 23. Efecto de la velocidad del aire sobre la apariencia de hojas externas de la lechuga.....	114
Cuadro A. 24. Efecto de la velocidad del aire sobre la apariencia de hojas internas de la lechuga.....	114
Cuadro A. 25. Efecto de la velocidad del aire sobre la crujencia de hojas externas de la lechuga.....	115
Cuadro A. 26. Efecto de la velocidad del aire sobre la crujencia de hojas internas de la lechuga.....	116

Cuadro A. 27. Efecto de la velocidad del aire sobre la deshidratación de hojas externas de la lechuga .....	116
Cuadro A. 28. Efecto de la velocidad del aire sobre la deshidratación de hojas internas de la lechuga.....	117
Cuadro A. 29. Efecto de la velocidad del aire sobre el daño de hojas externas de la lechuga.....	117
Cuadro A. 30. Efecto de la velocidad del aire sobre el daño en hojas internas de la lechuga.....	118
Cuadro A. 31. Efecto de la velocidad del aire sobre las pudriciones de la lechuga .....	118



## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Metodología utilizada. (1) Lechuga almacenada previo a empaque en estanque, (2) Lechuga con raíz en bolsa cerrada, (3) Lechuga almacenada en cajas estibables en cámara de refrigeración.....	21
Figura 2. Diagrama de Túnel de Secado, Laboratorio Ingeniería Química, UCR.....	25
Figura 3. Detalle de los puntos de medición de las condiciones de la Figura 2 .....	26
Figura 4. Metodología utilizada en el ensayo 3. (1)Termoanemómetro y termómetro infrarrojo, (2) Túnel de secado, (3) Balanza granataria conectada al sistema de secado, (4) Termoanemómetro .....	28
Figura 5. (1) Lechuga Americana, (2) Lechuga hoja crespa con coloración roja (Salanova), (3) Lechuga hoja lisa verde (Salanova), (4) Lechuga hoja lisa roja (Salanova) y (5) Lechuga hoja crespa verde.....	29
Figura 6. Efecto de las condiciones de empaque y el corte de la raíz sobre las pérdidas de peso de la lechuga durante el almacenamiento .....	34
Figura 7. Efecto de la temperatura y el corte de la raíz sobre la pérdida de peso de la lechuga empacada en bolsa cerrada, abierta o sin bolsa .....	36
Figura 8. Transferencia de vapor de agua de la lechuga al espacio de cabeza y al ambiente.....	39
Figura 9. Efecto de la temperatura y el corte de la raíz sobre el coeficiente de transpiración de la lechuga durante el almacenamiento .....	41
Figura 10. Efecto del material de empaque y el corte de la raíz sobre la apariencia fresca de la lechuga durante 8 días de almacenamiento a 5, 10 y 15 °C .....	44
Figura 11. Efecto del material de empaque y el corte de la raíz sobre la turgencia de la lechuga durante 8 días de almacenamiento a 5, 10 y 15 °C.....	46
Figura 12. Efecto del material de empaque y el corte de la raíz sobre el puntilleo de nervadura de la lechuga durante 8 días de almacenamiento a 5, 10 y 15 °C.....	47
Figura 13. Efecto del material de empaque y el corte de la raíz sobre el daño de borde de hoja de la lechuga durante 8 días de almacenamiento a 5, 10 y 15 °C .....	48
Figura 14. Efecto del tipo de empaque y el corte de la raíz sobre la crujencia de nervadura de la lechuga durante 8 días de almacenamiento a 5, 10 y 15 °C.....	49

Figura 15. Efecto del material de empaque y el corte de la raíz sobre la crujencia en hojas de la lechuga durante 8 días de almacenamiento a 5, 10 y 15 °C .....	50
Figura 16. Efecto del tipo de empaque y el corte de la raíz sobre pudriciones de la lechuga durante 8 días de almacenamiento a 5, 10 y 15 °C.....	52
Figura 17. Efecto de las condiciones de empaque y el método de producción sobre las pérdidas de peso de la lechuga durante el almacenamiento.....	53
Figura 18. Efecto de la temperatura y el método de producción sobre la pérdida de peso de la lechuga empacada en bolsa cerrada, abierta o sin bolsa .....	56
Figura 19. Efecto de la temperatura y el método de producción sobre el coeficiente de transpiración de la lechuga durante el almacenamiento .....	58
Figura 20. Efecto del tipo de empaque y el método de producción sobre la apariencia fresca de la lechuga durante 7 días de almacenamiento a 5, 10 y 15 °C .....	60
Figura 21. Efecto del tipo de empaque y el método de producción sobre la turgencia de la lechuga durante 7 días de almacenamiento a 5, 10 y 15 °C .....	61
Figura 22. Efecto del material de empaque y el método de producción sobre el puntillado de nervadura de la lechuga durante 7 días de almacenamiento a 5, 10 y 15 °C .....	62
Figura 23. Efecto del material de empaque y el método de producción sobre el daño en borde de hoja de la lechuga durante 7 días de almacenamiento a 5, 10 y 15 °C .....	63
Figura 24. Efecto del material de empaque y el método de producción sobre la crujencia en nervaduras de la lechuga durante 7 días de almacenamiento a 5, 10 y 15 °C .....	65
Figura 25. Efecto del material de empaque y el método de producción sobre la crujencia en hojas de la lechuga durante 7 días de almacenamiento a 5, 10 y 15 °C .....	66
Figura 26. Efecto del material de empaque y el método de producción sobre pudriciones de la lechuga durante 7 días de almacenamiento a 5, 10 y 15 °C .....	67
Figura 27. Efecto del material de empaque y el método de producción sobre líquido acumulado de la lechuga durante 7 días de almacenamiento a 5, 10 y 15 °C .....	68
Figura 28. Efecto de distintas velocidades de aire sobre la pérdida de peso de la lechuga sin bolsa durante el almacenamiento.....	70

Figura 29. Efecto de distintas velocidades de aire sobre el coeficiente de transpiración de la lechuga durante el almacenamiento .....	71
Figura 30. Efecto de distintas velocidades de aire sobre la apariencia general de la lechuga durante dos horas.....	72
Figura 31. Efecto de distintas velocidades de aire sobre la apariencia de hojas externas de la lechuga durante dos horas.....	73
Figura 32. Efecto de distintas velocidades de aire sobre la apariencia de hojas internas de la lechuga durante dos horas .....	74
Figura 33. Efecto de distintas velocidades de aire sobre la crujencia de hojas externas de la lechuga durante dos horas .....	75
Figura 34. Efecto de distintas velocidades de aire sobre la crujencia de hojas internas de la lechuga durante dos horas .....	76
Figura 35. Efecto de distintas velocidades de aire sobre la deshidratación de hojas externas de la lechuga durante dos horas.....	77
Figura 36. Efecto de distintas velocidades de aire sobre la deshidratación de hojas internas de la lechuga durante dos horas .....	78
Figura 37. Efecto de distintas velocidades de aire sobre el daño en hojas externas de la lechuga durante dos horas.....	79
Figura 38. Luminosidad, L*, en la cara interna (abaxial) y externa (adaxial) de las hojas de cuatro diferentes variedades de lechuga, ubicadas en la parte externa, media e interna del producto. ....	80
Figura 39. Comparación entre parámetros a* en la cara interna (abaxial) y externa (adaxial) para cuatro diferentes variedades de lechuga. ....	82
Figura 40. Comparación entre parámetros b* en cara interna de la hoja (abaxial) y externa (adaxial) para cuatro diferentes variedades de lechuga.....	83
Figura 41. Relación área/hoja (cm <sup>2</sup> /hoja) promedio para cinco tipos de lechuga.....	84
Figura 42. Relación área/peso (cm <sup>2</sup> /100 g) para cinco tipos de lechuga.....	85
Figura A1. 1. Efecto del material de empaque y el corte de la raíz sobre la Apariencia fresca de la lechuga hasta por 27 días de almacenamiento a 5, 10 y 15 °C.....	119

Figura A1. 2. Efecto del material de empaque y el corte de la raíz sobre la turgencia de la lechuga hasta por 27 días de almacenamiento a 5, 10 y 15 °C. ....	120
Figura A1. 3. Efecto del material de empaque y el corte de la raíz sobre el puntilleo en nervaduras de la lechuga hasta por 27 días de almacenamiento a 5, 10 y 15 °C. ....	121
Figura A1. 4. Efecto del material de empaque y el corte de la raíz sobre el daño en borde de hojas de la lechuga hasta por 27 días de almacenamiento a 5, 10 y 15 °C. ....	122
Figura A1. 5. Efecto del material de empaque y el corte de la raíz sobre la crujencia en nervaduras de la lechuga hasta por 27 días de almacenamiento a 5, 10 y 15 °C. ....	123
Figura A1. 6. Efecto del material de empaque y el corte de la raíz sobre la crujencia en hojas de la lechuga hasta por 27 días de almacenamiento a 5, 10 y 15 °C. ....	124
Figura A1. 7. Efecto del material de empaque y el corte de la raíz sobre pudriciones de la lechuga hasta por 27 días de almacenamiento a 5, 10 y 15 °C. ....	125
Figura A2. 1. Efecto del material de empaque y el método de producción sobre la Apariencia fresca de la lechuga hasta por 23 días de almacenamiento a 5, 10 y 15 °C. ....	126
Figura A2. 2. Efecto del material de empaque y el método de producción sobre la turgencia de la lechuga hasta por 23 días de almacenamiento a 5, 10 y 15 °C. ....	127
Figura A2. 3. Efecto del material de empaque y el método de producción sobre el puntilleo en nervaduras de la lechuga hasta por 23 días de almacenamiento a 5, 10 y 15 °C. ....	128
Figura A2. 4. Efecto del material de empaque y el método de producción sobre el daño en borde de hojas de la lechuga hasta por 23 días de almacenamiento a 5, 10 y 15 °C. ....	129
Figura A2. 5. Efecto del material de empaque y el método de producción sobre la crujencia en nervaduras de la lechuga hasta por 23 días de almacenamiento a 5, 10 y 15 °C. ....	130
Figura A2. 6. Efecto del material de empaque y el método de producción sobre la crujencia en hojas de la lechuga hasta por 23 días de almacenamiento a 5, 10 y 15 °C. ...	131
Figura A2. 7. Efecto del material de empaque y el método de producción sobre pudriciones de la lechuga hasta por 23 días de almacenamiento a 5, 10 y 15 °C. ....	132

Figura A2. 8. Efecto del material de empaque y el método de producción sobre el líquido acumulado de la lechuga hasta por 23 días de almacenamiento a 5, 10 y 15 °C. ....	133
Figura A3. 1. Efecto de la velocidad del aire sobre la apariencia general, apariencia hojas externas e internas, crujencia de hojas externas e internas y .deshidratación de hojas externas de la lechuga.....	134
Figura A3. 2. Efecto de la velocidad del aire sobre deshidratación de hojas internas, pudriciones y daños en hojas externas e internas de la lechuga. ....	135

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

PVi = Presión de vapor del agua dentro del producto

PVe = Presión de vapor del agua en el ambiente que rodea el producto

DPV = Déficit de la presión de vapor del aire

HR = Humedad Relativa

J = Difusión de un gas a través de una barrera

Pi = Peso al día i

Po = Peso Inicial

A<sub>T</sub> = Área total de la superficie del órgano vegetal

r = Resistencia a la permeabilidad

R<sub>D</sub> = Constante universal de los gases

T = Temperatura (K)

$\dot{M}$  = Tasa de transpiración

K<sub>s</sub> = Coeficiente de Transpiración

P<sub>s</sub> = Presión de vapor en la superficie celular del producto agrícola (*mPa*)

P<sub>a</sub> = Presión de vapor generado por las condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa (*mPa*)

CH = Contenido de Humedad

Peso inicial = Peso de la muestra en el día 0

Peso final = Peso de la muestra al último día

## RESUMEN

La pérdida de peso de los productos frescos después de la cosecha afecta tanto su calidad, como su vida útil y su valor comercial. Se debe a la migración de agua del producto al medio que la rodea y por tanto depende de las características del producto y las condiciones de empaque y almacenamiento desde la cosecha hasta el mercado meta, sometidos a condiciones con distintas temperaturas y humedades relativas a lo largo de la agrocadena. El objetivo de este trabajo fue estudiar la dinámica de la pérdida de peso de las hortalizas de hoja, utilizando la lechuga como modelo, para tres condiciones de temperatura (5, 10 y 15 °C) y tres humedades relativas, dadas por los materiales de empaque y las del cuarto refrigerado, comparando la respuesta de lechuga almacenada con y sin raíz y del sistema de producción (hidropónica o tradicional) y el efecto de la velocidad del aire (0,2 a 1,0 m/s) y se compararon las características de cinco tipos de lechuga comercializadas localmente. Se determinaron las curvas de pérdida de peso y los coeficientes de transpiración a lo largo del almacenamiento y los cambios en la apariencia, turgencia, puntilleo en la nervadura de las hojas externas, daños en los bordes de las hojas, crujencia aparente de las hojas y sus nervaduras y la presencia de pudriciones, oscurecimiento del corte y líquido acumulado dentro de los empaques. Se encontró que la pérdida de peso aumenta rápidamente cuando el producto se almacena en bolsas cerradas o sin bolsas para todas las temperaturas evaluadas, aumentando con la temperatura. Los coeficientes de transpiración fueron inferiores a  $800 \text{ mg kg}^{-1}\text{s}^{-1}\text{MPa}^{-1}$  para el producto en bolsas cerradas, del orden de 1000 para la lechuga en bolsas abiertas y variaron de 700 a 5000 para el producto sin bolsa durante los primeros 3 días de almacenamiento. No se encontraron diferencias significativas entre el almacenamiento con o sin raíz. La calidad de la lechuga, dada por la apariencia, turgencia, crujencia de las nervaduras y hojas, la ausencia de pudriciones y líquido dentro de los empaques, se deterioró rápidamente en la lechuga almacenada a 15 °C. No se encontraron diferencias en la dinámica de la pérdida de peso de las lechugas de producción hidropónica y tradicional (no hidropónica), ni en la pérdida de peso, los coeficientes de

transpiración ni en los cambios en la calidad del producto durante el almacenamiento. Las pérdidas de peso aumentaron con la velocidad del aire, los coeficientes de transpiración mostraron una tendencia ascendente al aumentar la velocidad del aire de 0,2 a 0,5 m/s (de 3501 a 13493 mg kg<sup>-1</sup>s<sup>-1</sup>MPa<sup>-1</sup>), pero un aumento adicional en la velocidad del aire no provocó un aumento en el coeficiente de transpiración. Los cambios en la apariencia, crujencia y apariencia deshidratada de la lechuga, después de dos horas, fue evidente. El número de hojas por lechuga varió entre los cinco tipos estudiados, entre 20 y 56 hojas y el área total entre 2000 y 5700 cm<sup>2</sup>, sin guardar una relación directa con la masa total, debido a la diferencia en la forma y tamaño de las hojas. El área total por hoja varió entre 41 y 292 cm<sup>2</sup>/hoja, mientras que el área por peso se mantuvo entre 14 y 17 cm<sup>2</sup>/g.



## JUSTIFICACIÓN

La demanda de alimentos de origen agrícola ha crecido por el constante aumento de la población mundial y requiere un abastecimiento continuo a lo largo del año; sin embargo, la disponibilidad de áreas de siembra es cada vez más limitada y a esto se añade que los productos agrícolas se deterioran rápidamente durante el proceso de comercialización y almacenamiento, siendo la pérdida de humedad, una causa importante del deterioro poscosecha, por su efecto sobre la calidad de los productos y de su valor comercial.

Estas pérdidas ocurren por el intercambio de masa entre el producto y el medio que lo rodea, mayormente por el diferencial de las presiones de vapor entre el producto y el ambiente a una temperatura dada.

En hortalizas de hoja como la lechuga, el problema de las pérdidas de peso es grande, porque tienen una gran área expuesta al ambiente (relación superficie/volumen), pierden rápidamente su turgencia y apariencia fresca y en consecuencia, su valor comercial. Por otro lado, las hortalizas de hoja como la lechuga, son productos de alto consumo, gran valor nutricional para la población e importancia económica y al ser tan perecederas, imponen un gran reto para lograr conservar su calidad a lo largo de la agrocadena (Luna, Tudela, Martínez, Allende & Gil, 2013).

Durante el manejo poscosecha de este tipo de hortalizas, estas se ven expuestas a ambientes con y sin refrigeración, con o sin control de la humedad relativa del ambiente que rodea, especialmente en las etapas que van desde la cosecha hasta el centro de acopio y de este al punto de venta. Esto lleva a pérdidas de peso de la lechuga, que pueden superar un 5-10 % en unos pocos días, con la consecuente pérdida del valor comercial del producto y su vida útil, considerando que este tipo de productos puede tolerar una pérdida de peso máxima de 3-5 % (Ben Yehoshua & Rodov, 2003). Los cambios indeseables asociados a la pérdida de peso incluyen aumento en la tasa de transpiración, marchitamiento, reducción de vida de anaquel, aparición de manchas en hojas entre otros (Martínez, Tudela, Allende & Gil, 2011).

La pérdida de peso de los productos frescos depende de muchos factores asociados al producto y las condiciones de almacenamiento. Hay fenómenos de transferencia de masa y de calor que obedecen a diferenciales de temperatura, déficit de presiones de vapor entre el producto y el ambiente, efecto de las reacciones de respiración, la evaporación del agua del estado líquido a vapor, de la estructura del producto y su superficie, barreras a la difusión de gases a través del producto y muchos más (Romero, 1987).

Para el caso de las hortalizas de hoja en los mercados locales, al ser productos tan perecederos, se comercializan rápidamente, y llegan a los mercados locales el mismo día o unos pocos días después de la cosecha. En particular, las lechugas, se comercializan con o sin empaques individuales; se distribuyen en medios de transporte generalmente sin refrigeración y posteriormente se exhiben en los puntos de venta con o sin enfriamiento, sin controlar la pérdida de peso ni las condiciones de almacenamiento del producto.

Con esta investigación se pretende estudiar la dinámica de pérdida de peso y los cambios en la calidad de las hortalizas de hoja bajo condiciones ambiente y con enfriamiento, con el fin de generar información para el sector agrícola que le permita tomar decisiones oportunas para minimizar las pérdidas poscosecha asociadas a la transferencia de vapor de agua al ambiente. Se utilizará como modelo lechuga americana (tipo EG) y se evaluará el efecto de las condiciones de temperatura, humedad y velocidad del aire durante el almacenamiento y el efecto del sistema de producción.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los productos agrícolas son separados de la planta madre durante la cosecha y dependen exclusivamente de sus propias reservas de agua y alimento para continuar con sus funciones metabólicas. Los métodos de manejo poscosecha promueven la conservación de estas reservas, durante el mayor tiempo posible, mediante un manejo cuidadoso, con lo cual también se preservan sus atributos de calidad y se reducen las pérdidas poscosecha a lo largo de la cadena de comercialización.

Dentro de los productos agrícolas frescos se encuentran las hortalizas de hoja; que son altamente susceptibles a la pérdida de peso y de sus atributos de calidad en pocos días (2-3). Los cambios en temperatura y humedad relativa tienen un gran efecto sobre la calidad de estos productos, debido a que su relación superficie/volumen es alta, con lo cual gran parte de la hortaliza se encuentra expuesta directamente a la atmósfera circundante.

En el estudio de la interacción del ambiente con los productos frescos, se introduce el término dinámica de la pérdida de peso, que estudia el fenómeno de pérdida de peso mediante el análisis del efecto de la temperatura, humedad relativa y la composición de la atmósfera dentro o fuera del empaque del producto, y la combinación de estos factores, sobre los cambios en el contenido de humedad del producto. Agüero, Ponce, Moreira & Roura (2011) describen las interacciones entre las condiciones ambientales y el producto, que inciden directamente en la tasa de respiración de la lechuga, su tasa de transpiración y la pérdida de agua del producto hacia la atmósfera, que inciden en la vida de anaquel de la lechuga y encontraron que al reducir la HR de 95-98 a 70-72 % durante el almacenamiento a 0-2 °C, la pérdida de peso y la degradación de clorofila aumentaron y la apariencia general del producto se deterioró rápidamente.

Para vegetales de hoja la superficie del producto consiste de una cutícula que puede tener estomas, que regulan el paso del agua, pero que después de la cosecha se cierran, total o parcialmente, de modo que para estos productos la transpiración

ocurre principalmente a través de la cutícula (Tano, Kamenan & Arul, 2005) (Romero, 1987).

La cutícula tiene una capa cerosa que da resistencia a la difusión del vapor de agua. El agua líquida pasa a través de la cutícula por difusión desde el interior del producto hasta bajo la superficie de la cutícula y a través de ésta pasa como vapor de agua.

El tipo de empaque que se utilice para la comercialización de la lechuga, también afecta la pérdida de humedad, pues con este se modifica el ambiente próximo al producto. La principal función del uso de empaques en los productos agrícolas frescos es proteger el producto, en primera instancia de golpes y otros daños mecánicos que puedan reducir su calidad durante el transporte y manejo y en segunda, para crear un ambiente de alta humedad que beneficie la conservación del producto. An, Park, & Lee (2009), señalan que para empaques cerrados, la presión interna de vapor, la temperatura de almacenamiento y la composición de gases debe controlarse.

La lechuga es un producto altamente susceptible a los cambios de temperatura y humedad relativa en el ambiente. Su apariencia se deteriora con facilidad con la pérdida de humedad y las hojas pierden brillo y se marchitan, lo cual deteriora su apariencia que es uno de los principales criterios de compra del consumidor (Zhan Li, Hu, Pang & Fan, 2012). Las condiciones de almacenamiento óptimas que la lechuga requiere son 5 °C y 95 %HR (Cerdas & Montero, 2004). Sin embargo, en Costa Rica, la lechuga se transporta del campo a los centros de distribución y puntos de venta generalmente sin refrigeración donde son colocadas en urnas con o sin refrigeración para su exhibición y venta. La humedad relativa del ambiente no se regula, sino que se usan empaques. Por otro lado, la humedad relativa rara vez es controlada directamente en la cadena de comercialización, en los equipos más modernos de los puntos de venta, se utilizan aspersores para la aplicación de agua, los cuales minimizan las pérdidas de humedad de los productos y mantienen un ambiente más húmedo alrededor del producto.

Hay poca información disponible sobre la dinámica de pérdida de peso de las hortalizas de hoja, pues los estudios se han dirigido a describir los cambios en la calidad de los productos durante el almacenamiento, con algunos datos de pérdidas de peso (Agüero et al, 2011). Por lo que surge la necesidad de un estudio más profundo sobre la respuesta de estas hortalizas, utilizando como modelo la lechuga, a las diferentes condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa a que se somete durante el almacenamiento y comercialización, así como factores relacionados con el sistema de producción y cosecha de la lechuga. Usando como indicadores de transferencia de masa, tanto la tasa de pérdida de peso como los coeficientes de transpiración y los cambios en la calidad. Con el fin de proveer una herramienta que permita al productor y al comerciante predecir las pérdidas en sus productos frescos según las condiciones de producción y almacenamiento que se utilicen y con ello reducir las pérdidas económicas relacionadas y aumentar la vida útil del producto.

## 2. OBJETIVOS

### Objetivo General

- Estudiar la dinámica en pérdida de peso de hortalizas de hoja ante cambios en las condiciones de producción y almacenamiento usando como modelo la lechuga (*Lactuca sativa*)

### Objetivos Específicos

- Evaluar el efecto de la temperatura y humedad relativa sobre la pérdida de peso, el coeficiente de transpiración y la calidad de la lechuga durante el almacenamiento para producto con y sin raíz.
- Comparar el efecto del sistema de producción de lechuga sobre la pérdida de peso, coeficiente de transpiración y la calidad durante el almacenamiento.
- Cuantificar el efecto de la velocidad del aire sobre la pérdida de peso y el coeficiente de transpiración.
- Caracterización comparativa del área foliar y atributos de calidad de cinco tipos de lechuga comercializadas en el mercado nacional.

### 3. MARCO TEÓRICO

La lechuga es un cultivo anual que se siembra en Costa Rica de forma tradicional, orgánica e hidropónica; ocupa un lugar muy importante dentro del mercado de hortalizas de Costa Rica, con gran demanda; con un 8,8 % siendo la tercera hortaliza de más consumo por debajo de la papa y el tomate (Programa Integral de Mercadeo Agropecuario, 2012), y exigencia en calidad por los consumidores por lo que se ha incrementado su consumo (5,03 kg/habitante/día) y producción. Las lechugas se clasifican en tres tipos: “arrepolladas”, de “hoja suelta” y “cos”; siendo la del tipo arrepolladas de la variedad Americana la más sembrada en Costa Rica (Cerdas & Montero, 2004)

La lechuga se siembra por transplante; por lo que tradicionalmente se realiza a partir de semilleros para ser transplantada al suelo cerca de 40 días después de la siembra. Recientemente se ha incorporado la hidroponía en ambientes protegidos, que es una técnica de producción de cultivos sin suelo, reemplazándolo por agua con nutrientes disueltos. Adicionalmente el cultivo es colocado dentro de una estructura que lo protege contra la radiación del sol y la exposición a insectos transmisores de virus y bacterias que puedan dañar el cultivo (Arias, Chaves & Monge, 2011). La lechuga variedad “Americana” se cultiva principalmente en las provincias de Cartago y Alajuela y tiene una oferta diaria de 12200 kg aproximadamente (Centro Nacional de Abastecimiento y Distribucion de Alimentos, 2016). Es una hortaliza que se produce mejor en la época seca debido a que es muy susceptible a la humedad; sin embargo se ha logrado mantener una oferta constante todo el año gracias a su producción en invernaderos (Cerdas & Montero, 2004).

La cosecha se da entre los 40 y 60 días después del transplante, siendo el tamaño y la compactación de cabeza los criterios más utilizados para la misma. Las hortalizas de hoja y en especial la lechuga son muy susceptibles a la pérdida de agua por lo que deben mantenerse en un lugar fresco luego de su cosecha. La pérdida de peso se da por evaporación del agua en la superficie del producto, por lo que, al tener la lechuga una gran área superficial en contacto con el ambiente, las pérdidas tienden a ser altas,

cuando se mantiene bajo ambientes de baja humedad relativa. Adicionalmente, las hojas de la lechuga son muy frágiles, y están unidas al resto de la planta cerca de la base, por lo que el manejo debe ser cuidadoso para evitar que se quiebren las nervaduras de hojas. Los daños mecánicos durante el manejo y la pérdida de peso deterioran la apariencia de la lechuga, y pueden causarle pérdida de peso (hojas que deben eliminarse y pérdida de humedad) y a la vez, el deterioro de la apariencia del producto y su valor comercial.

El uso de materiales de empaque en la lechuga cumple dos propósitos: proteger la lechuga contra daños mecánicos y contaminación durante la comercialización y crear un microambiente de alta humedad relativa alrededor del producto, que minimice las pérdidas de humedad del producto durante su manejo, almacenamiento y transporte. Sin embargo, se deben tener cuidados adicionales para también reducir los riesgos de contaminación microbiológica, como lo son el evitar el contacto del producto cosechado con el suelo durante la cosecha, lavar el producto con agua clorada u otro desinfectante permitido y escurrirlo para eliminar el exceso de agua, y eliminar las hojas quebradas, o con cualquier síntoma de daños patológico o fisiológico, para después envasar individualmente cada lechuga en bolsas con las características de transparencia, permeabilidad y tamaño adecuadas (Cerdas & Montero, 2004).

La vida de anaquel de los productos agrícolas puede verse afectada por varios factores entre los que está la transpiración, marchitamiento, sobre-maduración, problemas fisiológicos indeseables, problemas metabólicos que provoquen un cambio indeseable en la composición, daños por frío, daños mecánicos y patógenos.

Dentro de estos, la transpiración o pérdida de agua de un producto fresco, es una de las principales causas de reducción de la vida de anaquel. Una vez separado de la planta madre, se corta el suministro de agua y el producto mantiene su calidad y apariencia con las reservas de agua que tenga al momento de la cosecha (Ben Yehoshua & Rodov 2003).

El agua posee características fisicoquímicas únicas y muy importantes para las plantas, por la manera como interactúa con los tejidos vivos y compuestos, pues



participa activamente en muchos procesos enzimáticos, en la fotosíntesis y en conservar la turgencia (presión ejercida por los fluidos y por el contenido celular sobre las paredes de la célula que contribuye a la rigidez y estabilidad mecánica de los tejidos) de la planta.

La pérdida de humedad del producto hacia el exterior, depende del gradiente entre la presión de vapor del agua ( $PV_i$ ) dentro del producto y la presión de vapor del agua en el ambiente que rodea el producto ( $PV_e$ ). La  $PV_i$  dentro del producto es la presión de vapor de agua de los espacios intercelulares en vegetales y se encuentra muy cerca al punto de saturación, mientras que  $PV_e$  del aire puede encontrarse con variados niveles de saturación. De hecho, el término déficit de la presión de vapor del aire (DPV), se refiere a la diferencia en la presión de vapor del aire y la presión de vapor de saturación del aire, a la misma temperatura y es una medida de que tan lejos se encuentra de la saturación y de la capacidad que tiene el aire para absorber la humedad. Otro término relacionado, y más comúnmente usado es la humedad relativa (HR), que se define como la razón entre la presión de vapor del agua en el aire y la presión de vapor de saturación a una temperatura dada y se expresa como un porcentaje. Dado que la presión de vapor del agua en el aire depende de la temperatura, tanto la HR como el DPV también dependen de ella y de la respuesta del producto durante el almacenamiento.

Otra característica del aire que afecta la vida útil de los productos agrícolas frescos, es el punto de rocío, que es la temperatura a la cual la mezcla de aire-vapor de agua se condensa a un contenido de humedad constante del aire. Cuando se almacenan productos a esa temperatura, el vapor de agua en el aire se condensa sobre la superficie del producto, y al hacerlo, se convierte en una barrera para la transferencia de masa y a la vez, promueve el crecimiento de microorganismos indeseables.

El potencial químico del agua o energía libre permite especificar el estado del agua y se expresa en términos de energía por unidad de volumen. El agua fluye en la dirección en que decrece el potencial químico. También se le conoce como presión de succión o déficit de presión de difusión. El potencial hídrico está compuesto de tres

componentes: potencial osmótico, debido a la presencia de solutos disueltos; el potencial de presiones o turgencia, debido a la presión de turgencia que actúa sobre las paredes celulares y las membranas internas y el potencial matricial, que se debe a fuerzas capilares y moleculares dentro de la célula, que ayudan a retener agua (Ben Yehoshua & Rodov, 2003).

El movimiento del agua dentro del producto cosechado ocurre por diferencias en el potencial de agua. Ben Yehoshua & Rodov (2003) señalan tres rutas para la transmisión de agua dentro del producto, que sustituyen la ruta principal que se inhabilita con la cosecha.

- Simplasto: Agua y solutos disueltos se mueven a través del simplasto (citoplasma de células vecinas que se interconecta) de célula a célula por medio de la difusión en respuesta a los gradientes de energía.
- Apoplasto: Son las paredes celulares que rodean el simplasto, que forman un sistema continuo a través del cual el agua en estado líquido, se mueve por los espacios interfibrilares de las paredes celulares ante un gradiente de presión del agua.
- Atmósfera intercelular: La planta cuenta con un sistema intercelular que consta de espacios de gas en un enrejado continuo que sirve para la transferencia de oxígeno y dióxido de carbono principalmente, esta atmósfera es la responsable de que se dé un adecuado intercambio gaseoso en las células (Ben Yehoshua & Rodov, 2003). El vapor de agua también puede transferirse por difusión a través de los espacios intercelulares.

De acuerdo con estos autores, la vía más rápida de transferencia de agua es en forma líquida a través del apoplasto, por los gradientes de presiones hidrostática y osmótica y en forma de vapor a través de los espacios intercelulares, por las diferencias de presión con el exterior.

Adicionalmente, los mismos autores señalan que dado que el aire dentro de los espacios intercelulares está en una atmósfera prácticamente saturada y no hay barreras internas para la transferencia de masa, entonces, los diferenciales de presión

de vapor necesarios para que ocurra la transferencia de masa son muy pequeños y la difusión del vapor de agua es muy pequeña. Por tanto, se puede considerar que la atmósfera interna de un producto agrícola es uniforme dentro del mismo y que la resistencia al movimiento del agua se localiza en la superficie del producto.

Algunos autores señalan que la transferencia de agua dentro del producto ocurre principalmente en forma líquida dentro del producto hasta la superficie; por difusión a través de la superficie del producto y por la evaporación del agua sobre la superficie del producto hacia el ambiente (Holcroft, 2015).

El supuesto de una composición uniforme de la atmósfera interna no se cumple para algunos productos agrícolas, que muestran resistencia al paso del agua por barreras físicas internas, como la cebolla y el repollo, que por su estructura dificultan la salida del agua hasta la parte externa del producto, y de hecho, las capas externas pueden perder mucha humedad mientras que la parte interna puede conservarse turgente. También se debe resaltar, que el movimiento de agua dentro del producto o desde él hacia el ambiente, varía con los productos.

La transferencia de masa del producto hacia el exterior ocurre en la superficie del producto, por evaporación en la superficie externa, a través de orificios o conductos que conectan la atmósfera interna con la externa y a través de la cicatriz del pedúnculo o punto de separación en el momento de cosecha.

Los estomas en las hortalizas de hojas regulan la transpiración antes de la cosecha, sin embargo, después de ésta, los estomas se cierran y la transpiración ocurre a través de la cutícula, aunque sigue habiendo transferencia de masa a través de estomas parcialmente cerrados (Tano et al, 2005). La cutícula es la capa externa que actúa como una interfase entre el producto y la atmósfera, cuya función es proteger el producto de ambientes muy secos y generalmente contiene ceras naturales y otros compuestos hidrofóbicos, por lo que el agua líquida debe atravesar la cutícula para luego evaporarse (Ben Yehoshua & Rodov, 2003).

La expresión matemática que describe el proceso de difusión de un gas a través de una barrera se conoce con el nombre de la ley de Fick, la cual se expresa de la siguiente manera:

$$J = (P_i - P_a) \cdot \frac{A_T \cdot r}{(R_D \cdot T)} \quad (1)$$

Donde:

$P_i$ : Presión parcial del vapor de agua a nivel intermolecular del producto agrícola (kPa).

$P_a$ : Presión parcial del vapor de agua atmosférico a una distancia determinada de la superficie del producto agrícola (kPa).

$A_T$ : Área total de la superficie del órgano vegetal.

$R_D$ : Constante universal de los gases.

$T$ : Temperatura absoluta (K).

$r$ : Resistencia a la permeabilidad (cuya inversa es igual al coeficiente de transpiración)  $J$ : Flujo de gas.

La presión de vapor de agua ( $P_i$  y  $P_a$ ) es la presión ejercida por el vapor de agua en la atmósfera (Ben Yehoshua & Rodov, 2003).

El coeficiente de transpiración se define como la pérdida de masa de agua por unidad de déficit en la presión de vapor por unidad de tiempo; y se puede expresar en términos del peso inicial total del producto o del área superficial del mismo. Por esto, el coeficiente de transpiración depende de las condiciones de almacenamiento y de las características del producto agrícola como el peso y área total. Matemáticamente se puede determinar por medio de la tasa de transpiración, la cual se expresa de la siguiente manera.

$$\dot{M} = k_s \cdot (P_s - P_a) \quad (2)$$

Donde  $\dot{M}$  representa la tasa de transpiración en  $mg \cdot s^{-1} \cdot kg^{-1}$ ; en este caso expresada términos del peso total inicial del producto agrícola o bien puede ser expresada en términos del área superficial total del producto en  $mg \cdot s^{-1} \cdot cm^{-2}$ ,  $k_s$  es el coeficiente de transpiración en  $mg \cdot s^{-1} \cdot kg^{-1} \cdot MPa^{-1}$  expresado por unidad de peso total del producto agrícola o bien se puede expresar en términos del área total del producto como  $mg \cdot s^{-1} \cdot cm^{-2} \cdot MPa^{-1}$  (Xanthopoulos, Ahanasiou, Lentzou,

Boudouvis & Lambrino, 2014),  $P_s$  representa la presión de vapor en la superficie celular del producto agrícola en  $MPa$  y  $P_a$  es la presión de vapor generado por las condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa en  $MPa$  (Rahman, 2007). Las hortalizas de hoja tienen una alta tasa de transpiración por la elevada relación área/volumen de algunos productos. Sin embargo, otros factores, como el tamaño, las características de la superficie del producto, la época de cosecha, el exceso de riego durante el crecimiento y las condiciones ambientales antes y después de la cosecha, afectan esta tasa (Ben Yehoshua & Rodov, 2003). En el Cuadro 1 se muestran valores de coeficiente de transpiración para diversas frutas y vegetales en los que se puede apreciar la diferencia entre una hortaliza de hoja como la lechuga y las frutas.

**Cuadro 1.** Coeficiente de transpiración para frutas y hortalizas frescas.

Producto	Coeficiente de Transpiración ( $mg \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1} \cdot mPa^{-1}$ )	Rango de coeficientes reportados en literatura ( $mg \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1} \cdot mPa^{-1}$ )
Papa	25	15-40
Cebolla	60	13-123
Tomate	140	71-365
Repollo	223	40-667
Zanahoria	1207	106-3250
Apio	1760	104-3313
Col de Bruselas	6150	3250-9770
Lechuga	7400	680-8750

(Ben Yehoshua & Rodov, 2003)

Las condiciones ambientales pueden favorecer o ayudar a controlar la transpiración de los productos frescos. Una alta humedad relativa, baja temperatura y baja velocidad del aire permiten reducir las pérdidas de humedad, en contraste con una baja HR, alta temperatura y alto flujo de aire, que las aumentarían (Ben Yehoshua & Rodov, 2003).

Estas condiciones se pueden regular y controlar mediante el almacenamiento con ventilación; el cual se define como estructuras en las que el aire del ambiente se introduce al área de almacenamiento bajo ciertas condiciones de humedad relativa, temperatura y velocidad (Hellickson, Driggers, & Muehling, 1983). La ventilación es necesaria en todo sistema de control de almacenamiento de productos frescos y debe considerar tanto aspectos físicos como biológicos del producto a almacenar.

Las condiciones ambientales dentro de la estructura de almacenamiento con ventilación dependen las condiciones ambientales externas, el tipo de estructura y sistemas de modificación de las condiciones dentro de esas estructuras como el calor y la humedad. Para definir la estructura a utilizar para almacenar un producto, se deben conocer los requerimientos de humedad relativa temperatura y velocidad del aire son importantes a considerar. La velocidad del aire durante el almacenamiento es importante a considerar, pues conforme el producto va perdiendo humedad va saturando el aire que lo rodea poco a poco (Hellickson et al, 1983). Es aquí donde una velocidad de aire mayor provoca un movimiento constante de ese aire que rodea el producto, reemplazándolo por aire no saturado. Por lo tanto, un incremento en la velocidad del aire generará un aumento en la tasa de transpiración del producto hasta alcanzar un punto donde el más mínimo aumento en la velocidad del aire no provocará cambios en la tasa de transpiración del producto.

La respuesta de los productos frescos a la pérdida de humedad varía entre productos, así como su efecto sobre la calidad sensorial y vida útil de los mismos. El Cuadro 2 muestra los valores máximos de pérdida de peso tolerados según el producto, para conservar su valor comercial.

**Cuadro 2.** Tolerancia máxima de pérdida de peso para diversos productos agrícolas.

Producto	Pérdida máxima permisible (%)
Espinaca	3
Zanahoria	4
Pepino	5
Lechuga	5
Colifor	7
Papa	7
Tomate	7
Esparrago	8
Col de Bruselas	8
Repollo	10
Apio	10
Cebolla	10

(Ben Yehoshua and Rodov, 2003)

Ben Yehoshua & Rodov (2003); señalaron como métodos para controlar la pérdida de humedad en los productos agrícolas frescos los siguientes:

- Reducción del déficit de la presión de vapor del agua en la atmósfera (Gradiente de presiones de vapor entre el producto y el ambiente): Esto se logra mediante una optimización del sistema de refrigeración y un humedecimiento del aire hasta alcanzar una alta humedad relativa.
- Incrementar la resistencia superficial al vapor del agua: Aplicando materiales anti-transpirantes durante la etapa precosecha o recubrimientos sobre la superficie del producto durante la etapa poscosecha.

- Uso de empaques plásticos con baja permeabilidad al vapor de agua para mantener el producto en un ambiente de alta humedad relativa, lo cual reduce la pérdida de humedad del producto hacia el ambiente.

También se protege el producto mediante el uso de materiales de empaque con perforaciones o abiertos, porque con ellos se crea un micro ambiente de alta humedad relativa alrededor del producto, y esto reduce la pérdida de humedad.



#### 4. MATERIALES Y METODOLOGÍA

##### *Materiales y métodos*

Esta investigación se enfocó en estudiar la dinámica de la pérdida de peso en hortalizas de hoja, utilizando la lechuga como modelo y las condiciones de almacenamiento y comercialización en Costa Rica.

Este trabajo se dividió en cuatro partes en las que se evaluó la pérdida de peso, el coeficiente de transpiración y la pérdida de calidad para la lechuga en diferentes condiciones de almacenamiento y producción. En la primera se evaluó el efecto de la temperatura, la humedad relativa y la cosecha con o sin raíz; en la segunda se evaluó además el efecto del sistema de producción, en el tercero de la velocidad del aire y en el cuarto se hizo una caracterización de cinco tipos de lechugas de venta en el mercado nacional.

Se consideró que toda la pérdida de peso se debía a la pérdida de agua y que la contribución de la conversión de azúcares en dióxido de carbono y agua por los procesos de respiración eran despreciables. Asimismo, se supuso que la depresión de la temperatura por la vaporización del agua en la superficie del producto, era despreciable. Todas las muestras de producto se acondicionaron a la temperatura de almacenamiento antes del inicio de los ensayos.

***Ensayo 1. Efecto de la temperatura y la HR sobre la pérdida de peso, el coeficiente de transpiración y la calidad de la lechuga durante el almacenamiento para producto con y sin raíz.***

El objetivo de este ensayo fue evaluar el efecto de la temperatura y humedad relativa sobre la pérdida de peso, el coeficiente de transpiración y la calidad de la lechuga durante el almacenamiento para producto con y sin raíz.

Se utilizaron 90 lechugas hidropónicas con su raíz de la variedad Americana (cultivar EG). Estas se compraron directamente al productor en su finca, ubicada en Sabana Redonda de Poás (Alajuela, Costa Rica), el 27 de marzo del 2014 y se transportaron

al Laboratorio de Tecnología Poscosecha del Centro de Investigaciones para su preparación y almacenamiento refrigerado.

Los tratamientos evaluados fueron tres temperaturas de almacenamiento (5, 10 y 15 °C); tres humedades relativas, dadas por la condiciones de empaque (bolsa cerrada, bolsa abierta y sin bolsa de polipropileno de 30,5 x 45,7 cm); y el corte o conservación de la raíz (seca o húmeda) antes del almacenamiento para 45 muestras de cada una. Se utilizó un diseño experimental irrestricto al azar con unidades experimentales de tamaño y peso uniforme (5 muestras por tratamiento). Los datos experimentales se analizaron utilizando el programa estadístico INFOSTAT (desarrollado por docentes-investigadores de Estadística y Biometría y de Diseño de Experimentos de la Universidad Nacional de Córdoba (FCA-UNC) en Argentina) para análisis de separación de medias de 0,05 % (Tukey).

Las lechugas se lavaron con agua clorada (200 ppm), se escurrieron, empacaron y colocaron en cajas plásticas estibables y se almacenaron hasta que las muestras perdían su calidad para ser comercializadas; con evaluaciones diarias de pérdida de peso y cada dos días de calidad, bajo las condiciones de temperatura establecidas. Se usaron registradores de temperatura y humedad relativa marca Hobo (ONSET HOBO Data Loggers) a lo largo del almacenamiento y los valores promedio se incluyen en el Cuadro 3, junto con la presión de vapor de saturación a cada temperatura, la presión de vapor del aire y el déficit de presión de vapor entre la lechuga y el medio que la rodea. Para el caso de las lechugas con bolsa abierta, en que parte de la lechuga quedaba expuesta al ambiente y otra parte se protegía con la bolsa, se usaron valores promedios entre el déficit de PV con bolsa cerrada y sin bolsa.

**Cuadro 3.** Condiciones de almacenamiento para los ensayos 1 y 2 y déficit de presiones de vapor entre la lechuga y el ambiente que la rodea.

Condiciones de empaque	T nominal (°C)	T real (°C)	% HR	P <sub>vapor</sub> (10 <sup>3</sup> MPa)	P <sub>vapor</sub> saturación** (10 <sup>3</sup> MPa)	ΔP déficit de P <sub>vapor</sub> (10 <sup>3</sup> MPa)*
Bolsa cerrada			95,00 ± 5,0	0,76	0,80	0,04
Bolsa abierta	5	3,70 ± 0,5		0,68	0,80	0,13
Sin bolsa			73,60 ± 8,0	0,59	0,80	0,21
Bolsa cerrada			95,00 ± 5,0	1,14	1,20	0,06
Bolsa abierta	10	9,60 ± 0,4		1,10	1,20	0,11
Sin bolsa			86,00 ± 4,3	1,03	1,20	0,17
Bolsa cerrada			95,00 ± 5,0	1,63	1,72	0,09
Bolsa abierta	15	14,40 ± 0,6		1,59	1,72	0,13
Sin bolsa			90,30 ± 5,9	1,55	1,72	0,17

\*: para la bolsa abierta, se usó como déficit de P<sub>vapor</sub>, el valor medio entre las condiciones de bolsa cerrada y sin bolsa; \*\* Obtenidos de tablas de vapor de (Cengel, 2009)

Durante el almacenamiento se midió el peso de cada lechuga diariamente y se hicieron evaluaciones no destructivas de los atributos de calidad cada dos días (apariencia fresca, turgencia, puntilleo en la nervadura de las hojas externas, daños en los bordes de las hojas (quema), crujencia aparente de las hojas y las nervaduras, presencia de líquido acumulado en los empaques, presencia de pudriciones y oscurecimiento en el corte de eliminación de la raíz). Las evaluaciones de calidad se hicieron inspeccionando cada lechuga individualmente y devolviéndola rápidamente a la cámara de almacenamiento correspondiente. Para los parámetros apariencia general (apariencia física promedio), turgencia (rigidez y estabilidad mecánica general), crujencia en hojas y crujencia en las nervaduras (nivel de propensión a fracturas en hojas y nervaduras) se midieron de forma visual calificando cada una por separado, tocando las lechugas una por una y se utilizó la siguiente escala de calidad:

1 = Extremadamente mal

3 = Mal

5 = Límite de aceptación comercial

7 = Bueno

9 = Excelente

Para los parámetros de puntillado (presencia de puntos oscuros) en la nervadura de las hojas, daños en el borde de las hojas, líquido acumulado, pudriciones y oscurecimiento de corte de cosecha se midió de forma visual y se utilizó la siguiente escala:

1 = No hay

2 = Leve

3 = Moderado

4 = Abundante

5 = Severo

El peso se determinó con una balanza analítica (Ohaus Adventurer ARC120 con una precisión de 0,01 g). Para la determinación del área foliar, se separaron todas las hojas y se hicieron cortes a aquellas hojas con curvatura pronunciada; se colocaron sobre una superficie lisa y se fotografiaron y el área se midió utilizando el programa Adobe Photoshop (CC 2015.0.1), con el cual se determinaron el área por hoja y área total por lechuga. A continuación se muestra en la imagen parte de los equipos y metodología utilizada.



**Figura 1.** Metodología utilizada. (1) Lechuga almacenada previo a empaque en estanque, (2) Lechuga con raíz en bolsa cerrada, (3) Lechuga almacenada en cajas estibables en cámara de refrigeración.

La pérdida de peso acumulada se determinó con respecto al peso inicial de la muestra, según la siguiente ecuación

$$PP = \frac{P_i - P_0}{P_0} \cdot 100 \quad (3)$$

Donde  $P_0$  es el peso inicial de la muestra y  $P_i$  es el peso medido al día  $i$ .

El coeficiente de transpiración,  $k_s$  (ecuación 2) se definió como la pendiente de la curva de la pérdida de peso acumulada y el tiempo de almacenamiento, (g/ 100 g·s),

dividida por el gradiente de la presión de vapor de saturación; calculado como la diferencia entre la presión de vapor del agua a la temperatura de almacenamiento y la presión de vapor de saturación a esa misma temperatura (anotadas en el Cuadro 1 para cada una de las condiciones de almacenamiento). El coeficiente de transpiración se reportó en unidades de  $\text{mg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{MPa}^{-1}$ . Para las bolsas cerradas se consideró una humedad relativa dentro de las bolsas del 95-100 %.

$$\dot{M} = k_s \cdot (P_s - P_a) \quad (2)$$

Para las evaluaciones de calidad de la lechuga durante el almacenamiento, se utilizaron las escalas y equipo que se muestran en el Cuadro 4.

**Cuadro 4.** Escalas y equipo para la evaluación de la calidad de la lechuga durante el almacenamiento.

	<b>Equipo</b>	<b>Unidades</b>
<i>Masa (Lechuga/tallo)</i>	Balanza	g
<i>Apariencia fresca</i>	Escala visual 1-9	adimensional
<i>Turgencia</i>	Escala visual 1-9	adimensional
<i>Puntilleo en la nervadura</i>	Escala Visual 1-5	adimensional
<i>Daño en el borde de la hoja</i>	Escala visual 1-5	adimensional
<i>Crujencia de hoja</i>	Escala visual 1-9	adimensional
<i>Crujencia de nervadura</i>	Escala visual 1-9	adimensional
<i>Líquido acumulado</i>	Escala 1-5	adimensional
<i>Pudriciones</i>	Escala visual 1-5	adimensional
<i>Oscurecimiento corte de cosecha</i>	Escala visual 1-5	adimensional

***Ensayo 2. Efecto del sistema de producción de lechuga sobre la pérdida de peso, el coeficiente de transpiración y la calidad durante el almacenamiento.***

El objetivo de este ensayo fue comparar el efecto del sistema de producción de lechuga sobre la pérdida de peso, el coeficiente de transpiración y la calidad durante el almacenamiento.

Se utilizaron 100 lechugas hidropónicas y no hidropónicas (50 de cada una) sin raíz de la variedad Americana cultivadas a cielo abierto bajo las mismas condiciones climáticas, las hidropónicas fueron cultivadas en camas sobre el nivel del suelo, con riego por goteo y fertilización controlada y las no hidropónicas cultivadas en surcos de forma tradicional con riego por aspersion y fertilización tradicional. Estas se compraron directamente en la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno, ubicada en La Garita de Alajuela (Costa Rica), el 4 de Septiembre del 2014 y se transportaron al Laboratorio de Tecnología Poscosecha del Centro de Investigaciones Agronómicas para su preparación y almacenamiento refrigerado. Cabe destacar que los dos lotes de lechugas evaluados fueron adquiridos simultáneamente del mismo productor, quienes usaron los mismos insumos para la siembra y la produjeron en paralelo, en el mismo terreno bajo los dos sistemas de producción, el primero en surcos y el segundo de forma hidropónica sobre camas elevadas del nivel del suelo.

Al igual que para el ensayo 1 los tratamientos fueron evaluados bajo las mismas tres temperaturas de almacenamiento (5, 10 y 15 °C); tres humedades relativas, y los mismos tipos de empaque (bolsa cerrada, bolsa abierta y sin bolsa de polipropileno de 30,5 x 45,7 cm) para 5 muestras por tratamiento; a excepción de que para este ensayo todas las muestras evaluadas no contaban con raíz. Se utilizó el mismo diseño experimental irrestricto al azar con unidades experimentales de tamaño y peso uniforme y los datos experimentales se analizaron utilizando el mismo programa estadístico INFOSTAT (desarrollado por docentes-investigadores de Estadística y Biometría y de Diseño de Experimentos de la Universidad Nacional de Córdoba (FCA-UNC) en Argentina) para análisis de separación de medias de 0,05 % (Tukey).

Las lechugas recibieron el mismo tratamiento de lavado, escurrido, empaque y colocación que para el ensayo 1 y se almacenaron bajo las mismas condiciones de temperatura y humedad relativa del ensayo 1 descritas en el Cuadro 1.

La pérdida de peso y calidad durante el almacenamiento se evaluaron de la misma manera que para el ensayo 1 utilizando las mismas escalas y unidades mencionadas en la metodología del ensayo 1.

Tal como para el primer ensayo; en este ensayo se utilizó el mismo equipo para medir el peso, la balanza analítica (Ohaus Adventurer ARC120 con una precisión de 0,01 g) y para la determinación del área foliar, se siguió la misma metodología descrita en el primer ensayo.

La pérdida de peso acumulada se determinó con respecto al peso inicial de la muestra, según la ecuación (3) y el coeficiente de transpiración mediante la ecuación (2). Adicionalmente, se utilizó una muestra de diez lechugas, cinco hidropónicas y cinco no hidropónicas para caracterizar los parámetros de calidad inicial del lote de lechugas (peso, número de hojas, área foliar, peso del tallo, peso total, apariencia fresca, apariencia deshidratada, puntilleo en la nervadura de las hojas externas, daños en los bordes de las hojas (quema), crujencia aparente de las hojas y las nervaduras, presencia de líquido acumulado en los empaques, presencia de pudriciones y oscurecimiento en el corte de eliminación de la raíz) (Cuadro 4).

### ***Ensayo 3. Evaluar el efecto de la velocidad del aire sobre la pérdida de peso y el coeficiente de transpiración.***

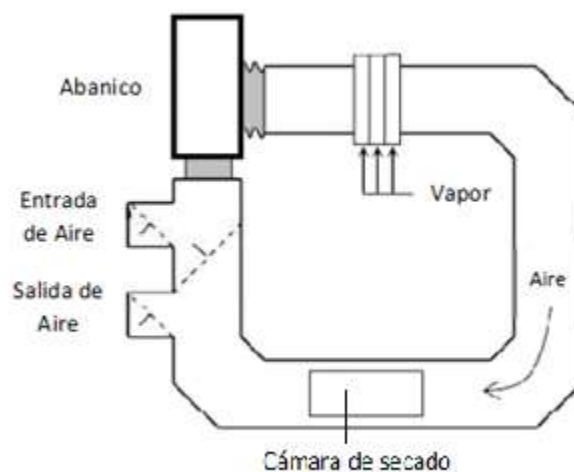
El objetivo de este ensayo fue evaluar el efecto de la velocidad del aire sobre la pérdida de peso y el coeficiente de transpiración para producto con raíz sin empaque.

Se utilizaron 18 lechugas hidropónicas con su raíz de tipo Americana (cultivar “freeze”). Estas se compraron en el supermercado Fresh Market, el 15 de febrero del 2015 y se transportaron al Laboratorio de Tecnología Poscosecha del Centro de Investigaciones donde fueron almacenadas a 5 °C por 3 días; las muestras presentaban un peso inicial promedio de 290,4 gramos.

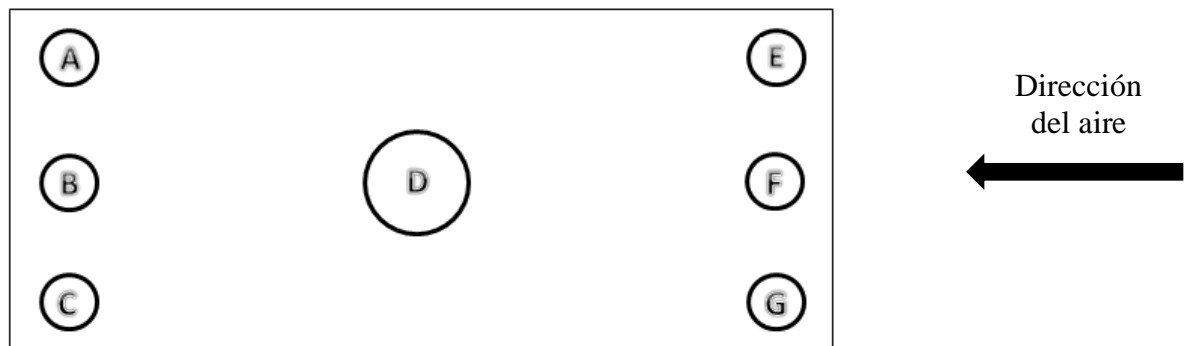


Las pruebas se realizaron en el secador del túnel del Laboratorio de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería en la Universidad de Costa Rica (Sede Rodrigo Facio), se estudiaron 5 velocidades del aire del túnel de secado de ese laboratorio. En cada prueba se utilizaba una lechuga entera sin empaque, colocada en la dirección del flujo del aire, de modo hiciera contacto con la raíz de la lechuga primero, (punto D de la Figura 3) para tres repeticiones por tratamiento. Se midió el peso de la lechuga con una balanza granataria marca Scientech (Modelo SG 5000, precisión 0,1 gramos). Adicionalmente se midieron las condiciones del aire (temperatura, velocidad y humedad relativa) que circulaba dentro del túnel utilizando data loggers (Hobos) en los puntos de entrada y salida del aire indicados en la Figura 2, así como en el punto D de la Figura 3, utilizando un termo-anemómetro marca Velocicalc (Modelo Serie 9565).

Se utilizó un diseño experimental irrestricto al azar con 5 unidades experimentales de tamaño y peso uniforme para tres repeticiones. Los datos experimentales se analizaron utilizando el programa estadístico INFOSTAT para análisis de separación de medias de 0,05 % (Tukey).



**Figura 2.** Diagrama de Túnel de Secado, Laboratorio Ingeniería Química, UCR.



**Figura 3.** Detalle de los puntos de medición de las condiciones de la Figura 2.

Preliminarmente, se caracterizó el flujo de aire en el túnel de secado; el cual permite utilizar velocidades de flujos entre 0,20 y 1,0 m/s y de donde se seleccionaron 5 velocidades para realizar el ensayo. Para caracterizar el flujo de aire, se hicieron 7 repeticiones de temperatura (ambiente), humedad relativa y velocidad en el punto de colocación de la muestra (abarcando la altura y ancho del túnel). Los resultados se muestran en el Cuadro 5.

Para ello, se usaron registradores de temperatura y humedad relativa marca Hobo (ONSET HOBO Data Loggers) en los puntos de entrada y salida de aire de la Figura 2. Diagrama de Túnel de Secado, Laboratorio Ingeniería Química, UCR y un termoanemómetro en los puntos A, B, C, D, E, F y G dentro de la cámara de secado (Figura 3).

**Cuadro 4.** Características del aire para túnel de secado en ensayo 3.

<b>Velocidad nominal (m/s)</b>	<b>Velocidad nominal del aire</b>				
	0,2	0,3	0,5	0,7	1
<b>Velocidad real (m/s)</b>	0,19±0,02	0,29±0,01	0,49±0,01	0,72±0,03	0,97±0,06
<b>T Superficie lechuga (°C) Punto D de Figura 3</b>	25,80±1,00	25,10±1,50	23,20±0,60	25,60±1,10	25,60±1,10
<b>T Cámara (°C) Puntos A,B,C,D,E,F y G de Figura 3</b>	25,60±2,30	25,10±2,00	23,10±0,90	24,90±1,40	24,70±1,80
<b>Temperatura Entrada (°C) Puntos E,F y G de Figura 3</b>	24,80±2,10	24,70±1,60	23,00±0,60	25,10±0,60	24,90±1,30
<b>Temperatura Salida (°C) Puntos A,B y C de Figura 3</b>	25,50±1,90	25,10±1,60	23,40±10	25,00±1,00	25,10±1,30
<b>HR Cámara (%) Puntos A,B,C,D,E,F y G de Figura 3</b>	63,10±3,20	61,40±3,70	66,70±1,90	59,20±4,30	60,50±4,70
<b>HR Entrada (%) Puntos E,F y G de Figura 3</b>	56,90±1,70	57,80±2,10	66,20±2,50	60,50±4,60	59,70±3,30
<b>HR Salida (%) Puntos A,B y C de Figura 3</b>	53,80±30	55,10±1,70	64,90±2,40	56,10±3,10	57,00±2,90

Durante cada ensayo se midió el peso de cada lechuga cada 15 minutos durante dos horas y se hicieron evaluaciones no destructivas de los atributos de calidad, apariencia general, apariencia hojas externas, apariencia hojas internas,

deshidratación hojas externas, deshidratación hojas internas, crujencia hojas externas, crujencia hojas internas, pudriciones, daños hojas externas y daños hojas internas al inicio y al final de cada ensayo. Las escalas de calidad utilizadas fueron las mismas que para los ensayos 1 y 2. En la figura a continuación se muestra parte de la metodología y equipos utilizados en el ensayo 3.



**Figura 4.** Metodología utilizada en el ensayo 3. (1)Termoanemómetro y termómetro infrarrojo, (2) Túnel de secado, (3) Balanza granataria conectada al sistema de secado, (4) Termoanemómetro.

La pérdida de peso acumulada se determinó con respecto al peso inicial de la muestra, según la ecuación (3). El coeficiente de transpiración, se calculó de la misma forma que para los ensayos 1 y 2 utilizando la ecuación (2) y los valores de presión de vapor del Cuadro 3.

***Ensayo 4. Caracterización comparativa del área foliar y atributos de calidad de cinco tipos de lechuga comercializadas en el mercado nacional.***

El objetivo de este ensayo fue comparar las características del tipo de lechuga utilizada en los ensayos anteriores, con otros cuatro tipos de lechuga comercializadas en Costa Rica.

Se utilizaron 10 lechugas hidropónicas de 5 variedades (2 de cada una) comercializadas en el mercado nacional; específicamente se utilizaron los siguientes tipos: americana, hoja crespa verde (Salanova), hoja crespa con coloración roja (Salanova), hoja lisa (Salanova) y hoja lisa con coloración roja (Salanova). Una muestra de ellas aparece en la Figura 5.



**Figura 5.** (1) Lechuga Americana, (2) Lechuga hoja crespa con coloración roja (Salanova), (3) Lechuga hoja lisa verde (Salanova), (4) Lechuga hoja lisa roja (Salanova) y (5) Lechuga hoja crespa verde.

Estas se compraron directamente en Fresh Market y en Sabana redonda de Poás y se transportaron al Laboratorio de Tecnología Poscosecha del Centro de Investigaciones para su preparación y almacenamiento refrigerado.

Se determinaron su masa, contenido de humedad, área foliar, color de las hojas en las caras adaxial y abaxial, el área promedio por hoja y la relación superficie/masa de cada lechuga.

El peso se determinó con una balanza analítica (Ohaus Adventurer ARC120 con una precisión de 0,01 g). Para la determinación del área foliar, se separaron todas las hojas y se hicieron cortes a aquellas hojas con curvatura pronunciada; se colocaron sobre una superficie lisa y se fotografiaron y el área se midió utilizando el programa Adobe Photoshop (CC 2015.0.1), con el cual se determinaron el área por hoja y área total por lechuga. Adicionalmente se realizó un conteo del número de hojas por muestra.

Cada lechuga se secó por medio de un horno de convección y su contenido de humedad se calculó por medio de la siguiente ecuación:

$$CH = \frac{Peso_{Inicial} - Peso_{final}}{Peso_{Inicial}} \cdot 100 \quad (4)$$

Donde  $Peso_{Inicial}$  equivale al peso húmedo de la muestra y  $Peso_{final}$  equivale al peso de la muestra una vez fue secada mediante el horno de convección.

El color se midió 1 vez en las hojas de cada muestra en dos puntos: adaxial y abaxial (Parte interna y externa de cada hoja, una vez en cada uno) en todas las muestras por medio de un Colorímetro (marca Chin Spec HP-C210). La metodología empleada se resume en el Cuadro 6 a continuación.

**Cuadro 5.** Detalle de equipos y variables respuesta para el ensayo 4.

	<b>Equipo</b>	<b>Unidades</b>
<i>Masa (Lechuga/tallo)</i>	Balanza	g
<i>Número de Hojas</i>	-	adimensional
<i>Área Foliar</i>	Fotografía Digital/Adobe Photoshop	cm <sup>2</sup>
<i>Color</i>	Colorímetro Chin Spec HP C210	Escala L*a*b*
<i>Secado</i>	Horno de convección y balanza Ohaus Adventurer ARC120	Temperatura, °C y masa en g

## 5. RESULTADOS

### *Resultados y discusión*

Los resultados de este estudio y su discusión se muestran seguidamente, divididos en los cuatro ensayos propuestos.

#### ***Ensayo 1. Efecto de la temperatura y la HR sobre la pérdida de peso, el coeficiente de transpiración y la calidad de la lechuga durante el almacenamiento para producto con y sin raíz.***

Las condiciones promedio de los cuartos fríos, se incluyeron en el Cuadro 3 de la metodología. Para los resultados, se presentan primero los resultados relacionados con la pérdida de peso y los coeficientes de transpiración y posteriormente los datos de los cambios de la calidad de la lechuga.

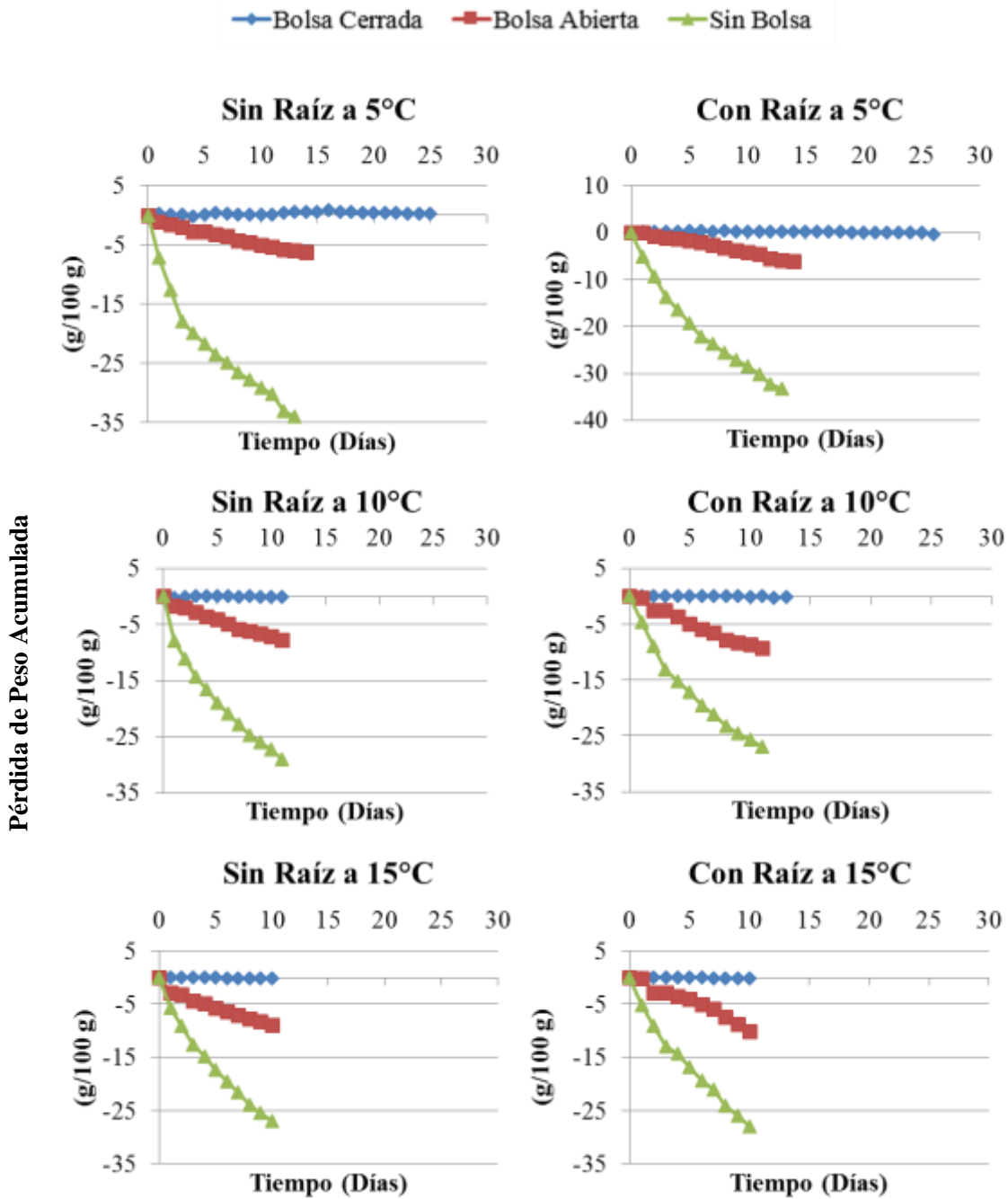
***Pérdida de Peso Acumulado:*** Las Figuras 6 y 7 muestran los resultados de la pérdida de peso acumulada de lechugas empacadas en bolsa cerrada, abierta o sin bolsa, para las tres temperaturas de almacenamiento y para producto con y sin raíz. El análisis estadístico se realizó por particiones para comparar el efecto de la temperatura de almacenamiento y del corte de la raíz, en forma separada de las condiciones de envasado. Lo anterior porque las diferencias en la pérdida de peso entre las condiciones de empaque fueron superiores al 10 %, lo cual se considera muy grande, y podrían introducir un sesgo en los resultados finales y su interpretación, o bien podrían ocultar los efectos de esas dos variables.

La pérdida de peso acumulada aumentó a lo largo del almacenamiento para las condiciones de empaque bolsa abierta y sin bolsa, independientemente de la temperatura de almacenamiento y de si se removía la raíz antes del almacenamiento (Figura 6). El peso de los productos almacenados en bolsas cerradas (Figura 7), se mantuvo con muy pocas variaciones atribuido al microambiente que se forma dentro del empaque, con una humedad relativa cercana al 95-100 % alrededor del producto; por tanto, el déficit de presiones de vapor entre el producto y la atmósfera interna del



empaques era muy pequeño y además, la bolsa cerrada, actuaba como una barrera con el exterior, controlando también la migración de vapor de agua desde el interior al exterior del empaque.

El uso de bolsas cerradas protege mucho más el producto, contra la pérdida de humedad, porque el gradiente de presiones de vapor entre la parte interna de la lechuga y el espacio de cabeza dentro de los empaques es casi nulo (ambos casi al 95-100 % HR), debido a que el aire dentro de los empaques se satura rápidamente. La migración de humedad del espacio de cabeza dentro de las bolsas cerradas hacia el exterior, es regulada por la permeabilidad de los empaques, y aunque se observó un gradiente de HR de casi 20 % entre el interior del empaque y el ambiente, las características del empaque protegieron contra el paso del vapor de agua por lo que las pérdidas fueron mínimas a las 3 temperaturas evaluadas, según se aprecia en la Figura 7. El uso de bolsas cerradas, también protege contra posibles fuentes de contaminación durante su manipulación, por lo que se consideran más higiénicos, siempre y cuando lleven la preparación adecuada antes del envasado.



**Figura 6.** Efecto de las condiciones de empaque y el corte de la raíz sobre las pérdidas de peso de la lechuga durante el almacenamiento.

El déficit de presiones de vapor entre el producto sin empacar o en bolsa abierta y el exterior favorece la pérdida de humedad, que sale de la parte interna de la lechuga

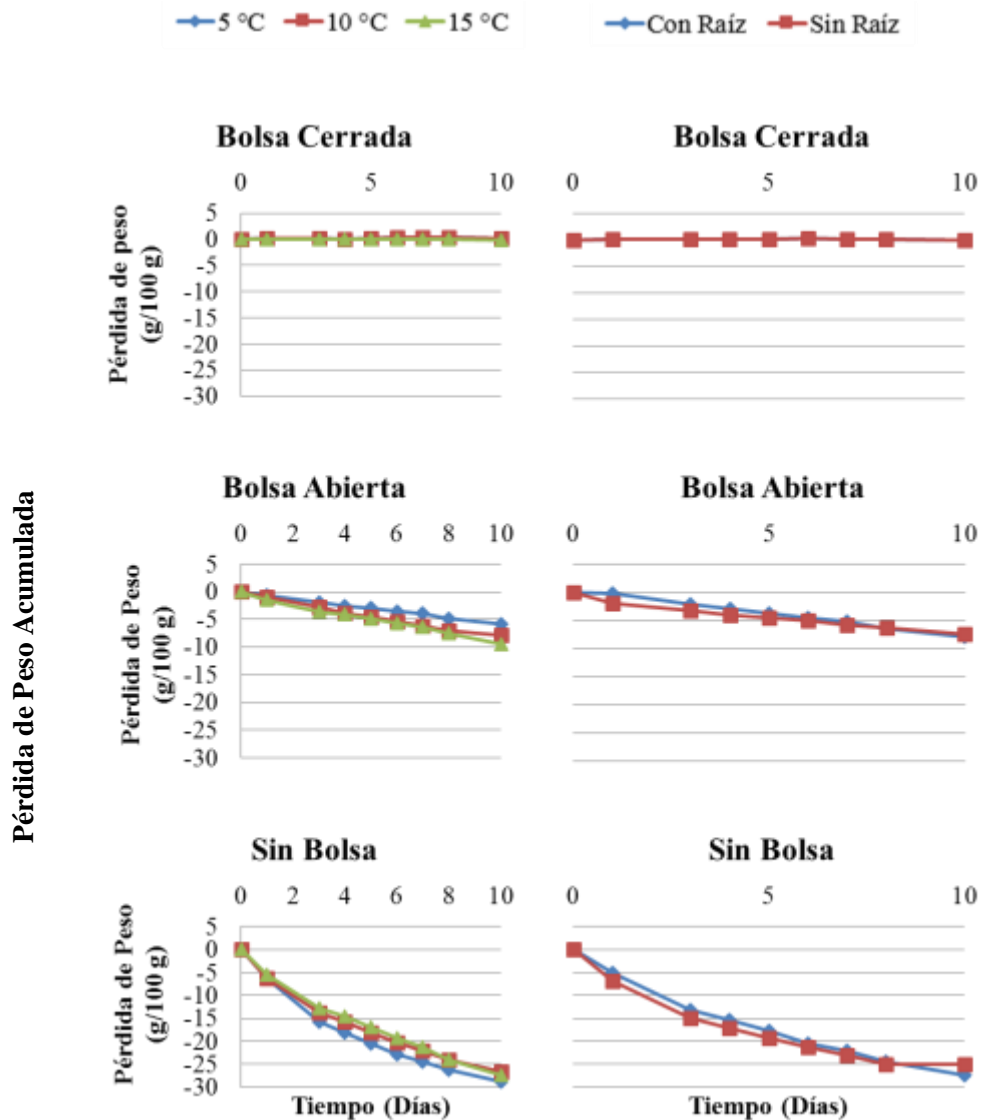
hacia la superficie. Cuando la lechuga se envasó en bolsas abiertas, el empaque dio protección parcial al producto, intermedia entre el producto en bolsa cerrada y el producto sin empaquetar, pues se registró que la pérdida de peso aumentó a través del tiempo, alcanzando valores entre 5 y 10 % después de 5 a 15 días de almacenamiento, según la temperatura. Lo anterior se explica porque al usar bolsas abiertas, se logra mantener un microambiente de alta humedad relativa junto a los costados de la lechuga, pero los extremos distales de las hojas quedan directamente expuestos a las condiciones del cuarto de enfriamiento que tenían humedades relativas de 73,6; 86,0 y 90,3 %, para 5, 10 y 15 °C, respectivamente, y a las corrientes de aire, facilitando la pérdida de humedad del producto. El empaque abierto, permite al consumidor apreciar el producto, por lo que su uso es recomendado cuando se pueda contar con una ágil comercialización (2-4 días), a bajas temperaturas (5 °C o menos), para que las pérdidas de peso no superen el 5 %.

El efecto de la humedad relativa se aprecia muy bien en la pérdida de humedad de la lechuga almacenada sin bolsa a 5 °C que fue la que mantuvo una menor humedad relativa a lo largo del almacenamiento y que mostró pérdidas de humedad más altas que las observadas para 10 y 15 °C.

Las pérdidas fueron mucho más rápidas, para el producto sin empaquetar, lo cual provocó una pérdida muy rápida de humedad, sobrepasando el 25 % para todas las temperaturas después de 10 días de almacenamiento, asociadas a que el producto se exponía directamente a la circulación de aire dentro de los cuartos fríos y al alto déficit de presiones de vapor, sin ningún material de empaque como protección.

En la Figura 7 se aprecia que el efecto de la humedad relativa, dada por las condiciones de empaque (bolsa cerrada, abierta o sin bolsa) fue mucho mayor que el efecto de la temperatura sobre la pérdida de peso de la lechuga. El almacenamiento a una menor temperatura reduce la actividad metabólica del producto, pero no tuvo efecto significativo sobre la pérdida de peso del producto, aún después de 15 días de almacenamiento, aunque ayudó a conservar su calidad; así las lechugas a 5 °C se mantuvieron con buen aspecto hasta por 25 días, en contraste con las lechugas almacenadas a 10 y 15 °C, en las cuales hubo un efecto negativo sobre la calidad de

éstas, lo que redujo la vida útil a partir del día diez de almacenamiento alcanzando pérdidas de peso mayores al 5 % (Ben-Yehoshua & Rodov, 2003), y tuvieron que ser descartadas.



**Figura 7.** Efecto de la temperatura y el corte de la raíz sobre la pérdida de peso de la lechuga empacada en bolsa cerrada, abierta o sin bolsa.

El efecto comparativo de la temperatura y la humedad relativa se aprecia muy bien en la pérdida de humedad de la lechuga almacenada sin bolsa a 5 °C que fue la que mantuvo una menor humedad relativa a lo largo del almacenamiento y que mostró

pérdidas de humedad más altas que las observadas para 10 y 15 °C. Aunque a estas dos temperaturas, la tasa de respiración podría haber sido 2 o 3 veces mayor que a 5 °C, esta no tuvo efecto sobre la pérdida de peso de las lechugas en bolsas cerradas (Figura 7 y Cuadro A.1 del apéndice) y solo pequeñas diferencias a lo largo del almacenamiento de los productos con bolsa abierta o sin bolsa.

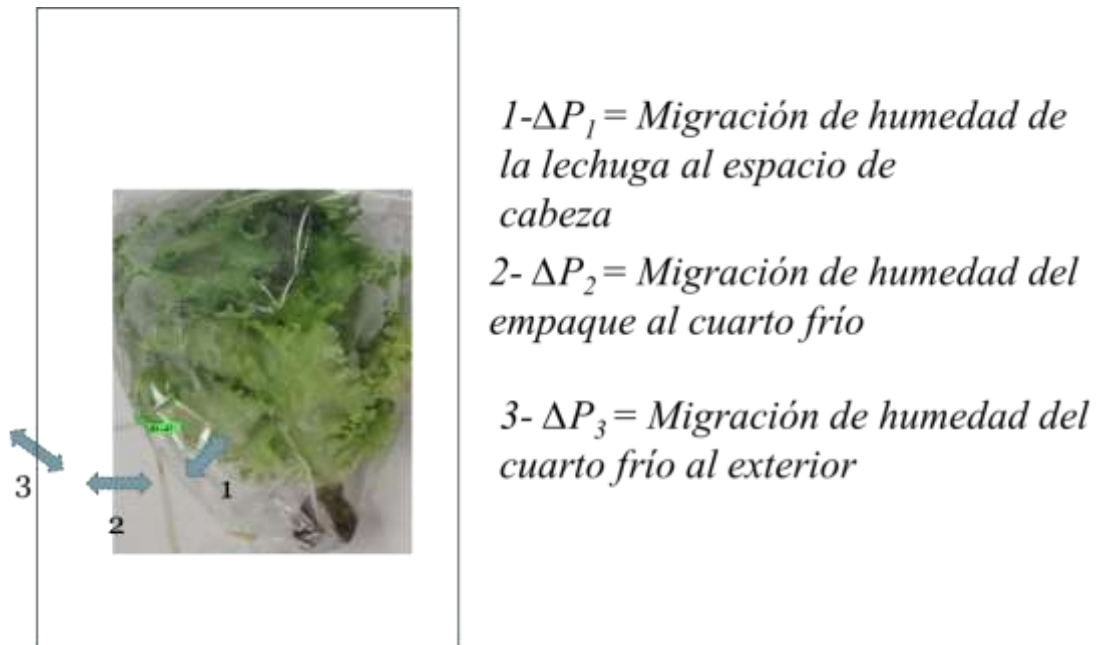
Las pérdidas de peso en la lechuga sin bolsa alcanzaron el 10 % desde el segundo día de almacenamiento, por lo que no se recomienda almacenar sin empaque; mientras que la pérdida en las empacadas en las bolsas cerradas fue casi nula por más de 10 días. La situación intermedia, en que se usaron bolsas abiertas, presentan como ventaja de mercado, que permite al consumidor ver directamente el producto, dado que en menos de una semana a 5 °C, las pérdidas alcanzaron el 5 %, poniendo en riesgo la calidad del producto. O al deterioro de la apariencia de éste y la pérdida de su valor comercial, se recomienda su uso cuando se puede mantener a baja temperatura y la comercialización se realice en pocos días.

Por otro lado, la remoción de la raíz no tuvo efecto significativo sobre las pérdidas de humedad ( $p < 0,05$ ), por lo que la conservación de esta no parece contribuir con la reducción de las pérdidas de peso de la lechuga durante el almacenamiento; al dejar la raíz, las bolsas tendieron a ensuciarse con los residuos del medio de cultivo. En el mercado nacional se comercializan algunas lechugas con su raíz, la cual forran con un recubrimiento plástico que contiene además un medio para mantener su humedad de la raíz. Aunque no se midió el efecto de recubrir la raíz, los resultados indicaron que la pérdida de peso del producto con raíz o sin raíz no cambió, por lo que se esperaría que el área adicional de la raíz no contribuye a mayores pérdidas de humedad; sin embargo, habría que evaluar si el recubrimiento usado comercialmente, ayuda a reducir las pérdidas de peso de toda la lechuga, a través de las hojas y de la raíz, que parece poco probable, por la gran superficie de las hojas expuestas al ambiente, en contraste con la superficie de la raíz.

El análisis estadístico mostró que la temperatura de almacenamiento y el corte de la raíz no afectaron significativamente la pérdida de peso para las lechugas almacenadas

en bolsas cerradas o abiertas durante los primeros diez días de almacenamiento. Sin embargo, la pérdida de peso en el producto sin empacar aumentó rápidamente y fue más alta para el producto sin empaque a 5 °C, lo cual se atribuyó a la baja humedad relativa del cuarto de enfriamiento (73,6 %), que fue menor que en los cuartos a 10 y 15 °C (86,0 y 90,3 %, respectivamente) y a la circulación de aire dentro de la cámara (no controlada y diferente entre cámaras), pues por un lado, al ser menor la humedad relativa, el gradiente de presiones de vapor es mayor y se acelera la pérdida de humedad, y por otro lado, una alta circulación de aire favorece también las pérdidas.

La Figura 8 ilustra el intercambio de masa entre una muestra de lechuga empacada en una bolsa plástica y el ambiente que lo rodea. Las flechas muestran la pérdida de humedad del interior de la lechuga hacia el espacio de cabeza dentro del empaque y de este al cuarto frío, durante el almacenamiento. La transferencia de masa ocurre por la diferencia entre las presiones de vapor entre el producto y el exterior a través de las distintas barreras a la transferencia del vapor (superficie de la lechuga, bolsa, paredes del cuarto frío). Estas diferencias de vapor tienden al equilibrio, para lo cual el vapor de agua migra de la parte interna de la lechuga hacia la superficie, y de allí al aire del espacio de cabeza del empaque. Cuando existe un gradiente de presiones de vapor entre la parte interna y externa del empaque, la permeabilidad del material gobierna la migración de agua a través del empaque. Para todos los tratamientos evaluados, la presión de vapor de los cuartos de almacenamiento, siempre fue menor que la de los espacios internos de la lechuga (90 % HR o menos). De modo que el déficit de presiones de vapor se mantuvo en todos los casos, entre el producto y el ambiente externo, y en el caso de bolsas cerradas, entre el ambiente interno del empaque y el de la cámara de enfriamiento.



**Figura 8.** Transferencia de vapor de agua de la lechuga al espacio de cabeza y al ambiente.

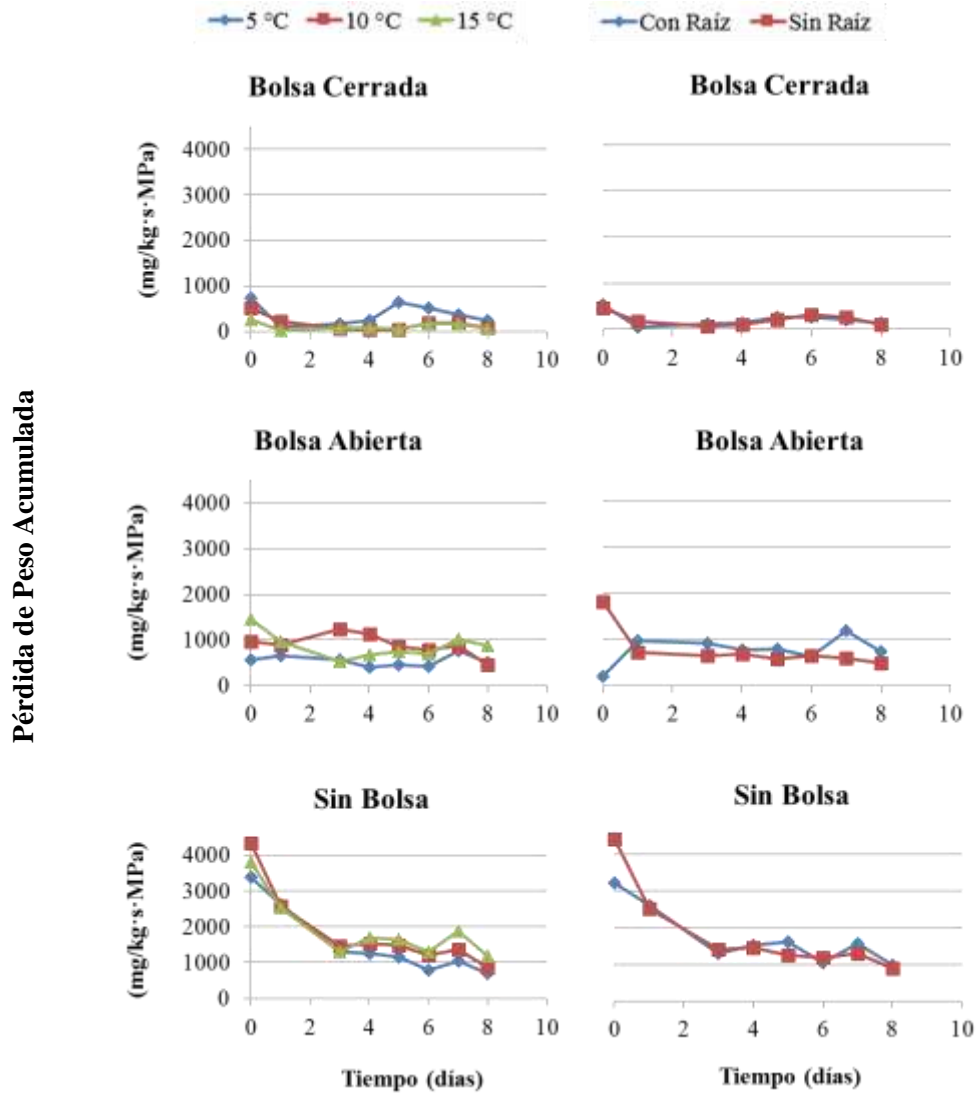
En las bolsas cerradas, el gradiente de las presiones de vapor entre la parte interna y externa del empaque es similar al que se encuentra entre el producto sin empacar y el ambiente, con la diferencia de que la transferencia de masa es regulada por la permeabilidad de los empaques, que actúan como una barrera al paso del vapor de agua, mayor que la superficie del producto.

Cabe destacar, que aunque este experimento no tomó en cuenta la velocidad del aire dentro de las cámaras, este es un factor que contribuye a aumentar la pérdida de peso y el uso de materiales de empaque actúa como una barrera de protección del paso del aire sobre el producto.

**Coefficientes de transpiración:** Los coeficientes de transpiración de la lechuga almacenada a 5, 10 y 15 °C, con y sin raíz para cada uno de las tres condiciones de empaque se muestra en la Figura 9 y el Cuadro A.2 del apéndice.

El producto empacado en bolsas abiertas o cerradas mostró coeficientes de transpiración con una ligera reducción en el primer día de almacenamiento y luego se mantuvieron con poca variación, en valores menores de 1230 y 630  $\text{mg kg}^{-1}\text{s}^{-1}\text{MPa}^{-1}$ , respectivamente, en contraste con el coeficiente de la lechuga sin bolsa, que mostró valores entre 3300 y 4400  $\text{mg kg}^{-1}\text{s}^{-1}\text{MPa}^{-1}$  al inicio del almacenamiento; con una rápida disminución durante los primeros tres días y posteriormente se estabilizó en valores que oscilaron entre 700 y 1800  $\text{mg kg}^{-1}\text{s}^{-1}\text{MPa}^{-1}$ , lo cual se observó para las tres temperaturas estudiadas. Esto se atribuyó al movimiento del aire cerca de la superficie de la lechuga, que facilitó la transferencia de masa de las capas externas de la lechuga hacia el ambiente durante los primeros días de almacenamiento. Por su parte, se encontró que el corte de la raíz no tuvo ningún efecto sobre este coeficiente para el producto empacado en bolsa cerrada; pero, para la lechuga en bolsa abierta o sin bolsa, se observó un incremento al inicio del almacenamiento, en que los valores de los coeficientes de transpiración fueron mayores, lo cual se atribuyó a la respuesta fisiológica de la lechuga al daño mecánico provocado al realizar el corte, pero después de un día, no se observaron diferencias significativas en el coeficiente de transpiración del producto con o sin raíz. No se encontraron diferencias significativas en los coeficientes de transpiración para las bolsas cerradas para las tres temperaturas, a lo largo de los primeros ocho días de almacenamiento, ni entre el producto con y sin raíz.





**Figura 9.** Efecto de la temperatura y el corte de la raíz sobre el coeficiente de transpiración de la lechuga durante el almacenamiento.

Se observó que para el producto almacenado sin bolsa, el coeficiente de transpiración fue 6 a 9 veces mayor durante los primeros dos o tres días de almacenamiento, y luego se estabilizó en un nivel que correspondía a de 5-6 veces el coeficiente de transpiración para las lechugas con bolsa cerrada. De modo que la pérdida de humedad de la lechuga es 6-9 veces mayor cuando esta se almacena sin bolsa. De modo que para conservar la calidad de la lechuga es importante disminuir el tiempo entre la cosecha y el empaque y utilizar de preferencia bolsas cerradas.

La remoción de la raíz no tuvo efectos significativos sobre el coeficiente de transpiración, y mostró una tendencia decreciente a lo largo del almacenamiento, pero con muy poca variación a partir del tercer día, lo cual se atribuyó a que al reducirse la turgencia de la lechuga, la salida de humedad en forma de vapor de agua mostrando también valores significativamente mayores durante los primeros días de almacenamiento refrigerado. La reducción del coeficiente de transpiración después del tercer día de almacenamiento se explica por la pérdida de turgencia del producto, la reducción en el gradiente de las presiones de vapor dentro y fuera del producto, a medida que el producto se deshidrata. Por tanto, la humedad relativa, dada por las condiciones de envasado, es la que tiene mayor efecto sobre el coeficiente de transpiración, seguido por la temperatura y que los valores fueron mínimos para 5 °C.

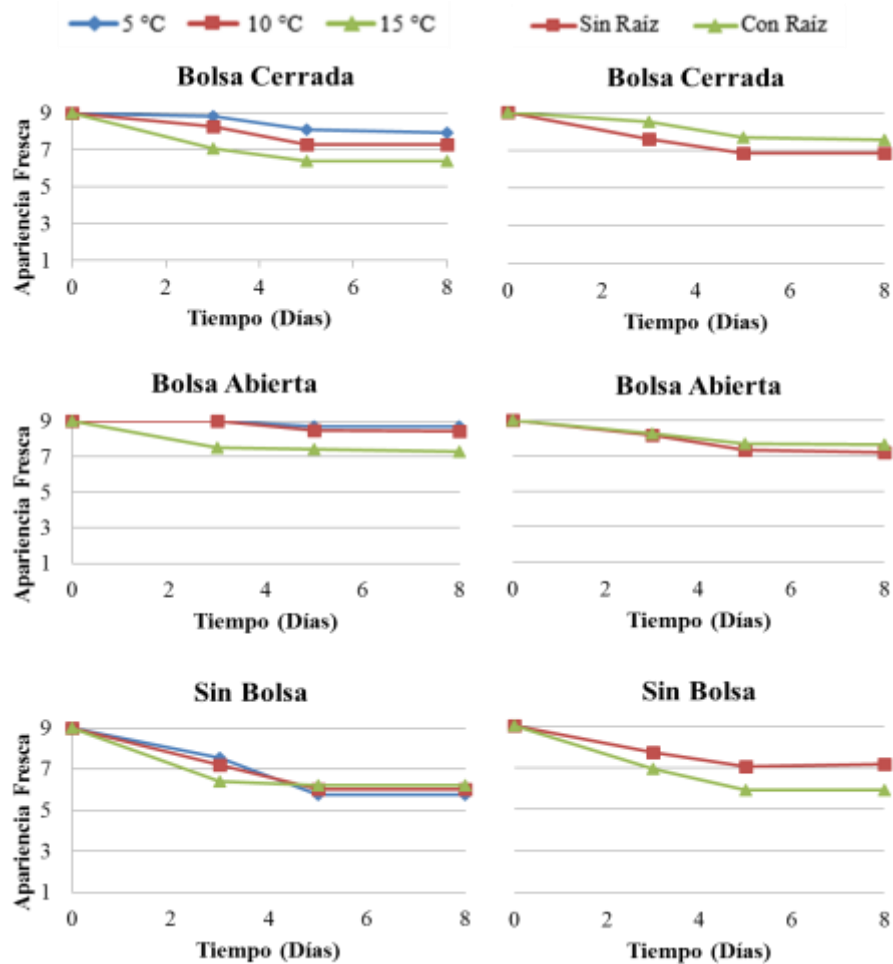
***Cambios en la calidad de la lechuga:*** Ligado a la pérdida de peso se encuentran los cambios en la calidad de la lechuga que se muestran en las Figuras 10 a 16, A1.1 a A1.7 y Cuadros A.3 a A.9. Las cuales, no sólo dependen de la temperatura de almacenamiento sino de la humedad relativa del aire que las rodea.

**Apariencia Fresca:** El aumento de la temperatura de almacenamiento de 5 a 15 °C redujo significativamente la apariencia fresca de la lechuga almacenada en bolsa cerrada y abierta a lo largo del almacenamiento. El producto empacado en bolsas abiertas y cerradas a 5 y 10 °C mostró una calificación de la apariencia significativamente mayor que el producto almacenado a 15 °C durante los primeros ocho días (Figura 10 y A1.1, Cuadro A3). Esto se atribuyó a que al reducir la temperatura, las reacciones metabólicas son más lentas y se conserva mejor el producto, tal como se aprecia en la Figura A1.1 para tiempos de almacenamiento de hasta 25 días, en que la lechuga a 5 °C pudo conservarse por más de 20 días con una buena apariencia (7 en la escala de calidad). Sin embargo, para el producto sin empaque, el deterioro de la apariencia fue muy rápido para las tres temperaturas y hubo que descartar el producto después de 8 días, que representa una vida útil de menos del 50 % con respecto a la almacenada a 5 °C.

Cuando se usaron bolsas abiertas, no se encontraron diferencias significativas en la apariencia de las lechugas mantenidas a 5 y 10 °C durante los primeros ocho días de almacenamiento pero posteriormente el deterioro fue rápido y fue necesario descartarlas después de 11 días. A 5 °C la apariencia fresca de las lechugas con raíz se mantuvo mejor que cuando se removió la raíz, lo que podría deberse al efecto del daño mecánico ocasionado con el corte. Esta diferencia no fue percibida para el producto almacenado a 10 °C y el producto almacenado a 15 °C, mostró el comportamiento contrario. Sin embargo, para tiempos de almacenamiento mayores a los 5 días (Figura A1.1), el almacenamiento de la lechuga con raíz contribuyó a conservar la apariencia de la lechuga por más tiempo (el ANOVA se hizo para los primeros ocho días de almacenamiento, en que se tenían datos de las variables respuesta para todos los tratamientos).

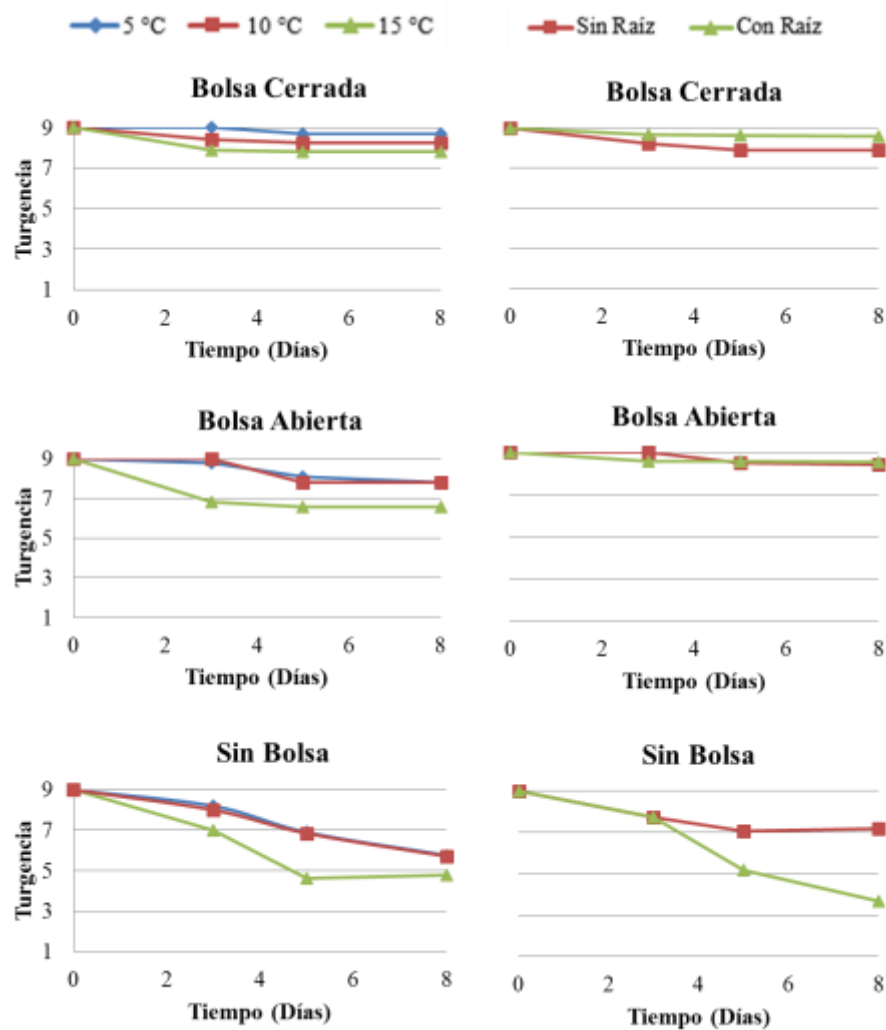
Estos resultados concuerdan con la recomendación de las condiciones óptimas de almacenamiento para lechuga (2 °C y 95 %HR), dadas por Adel Kader semejantes a las del tratamiento a 5 °C con bolsa cerrada. El uso de las bolsas contribuyó a mantener un ambiente de alta humedad relativa alrededor de la lechuga o parte de ella, lo cual, inhibió la pérdida de peso y contribuyó a mantener una mejor apariencia del producto. Al inicio del experimento, todas las lechugas recibieron la máxima calificación en cuanto a apariencia fresca (9, en una escala de 1 a 9), la cual se fue reduciendo a lo largo del almacenamiento. La apariencia general de la lechuga almacenada a 5 y 10 °C en bolsa abierta o cerrada se mantuvo con pocas variaciones y sin diferencias significativas durante los primeros 8 días de almacenamiento, mientras que, la apariencia de la lechuga sin empacar, se deterioró mucho más para todas las temperaturas evaluadas. Los cambios en la apariencia fresca del producto se atribuyeron principalmente a la pérdida de humedad de la lechuga, que le resta turgencia, brillo y cambio aparente en la textura desde los primeros días de almacenamiento. Por su parte, el efecto de cortar la raíz de la lechuga antes del almacenamiento tuvo un efecto negativo significativo en la apariencia fresca del producto almacenado a 5 °C, que se mantuvo mejor que cuando se le cortó la raíz, sin embargo, para el producto con bolsa abierta, no se encontró ningún efecto y para

el producto almacenado sin bolsa, la apariencia se deterioró más rápidamente al dejar la raíz. Los resultados muestran que la apariencia fresca del producto bajó entre 1 y 2 puntos en la escala de calidad durante los primeros tres días de almacenamiento y posteriormente mostraba reducciones menores, lo cual parece indicar que la pérdida de humedad durante esos primeros días, podría tener una mayor incidencia en la percepción de la apariencia del producto, en comparación con pérdidas mayores, ocurridas durante el almacenamiento. La pérdida de peso acumulada después de tres días de almacenamiento, fue del orden de 5 a 10 % para los productos empacados en bolsa abierta y sin bolsa, respectivamente, mientras que para el que se encontraba en bolsa cerrada, no registró pérdidas significativas.



**Figura 10.** Efecto del tipo de empaque y el corte de la raíz sobre la apariencia fresca de la lechuga durante 8 días de almacenamiento a 5, 10 y 15 °C.

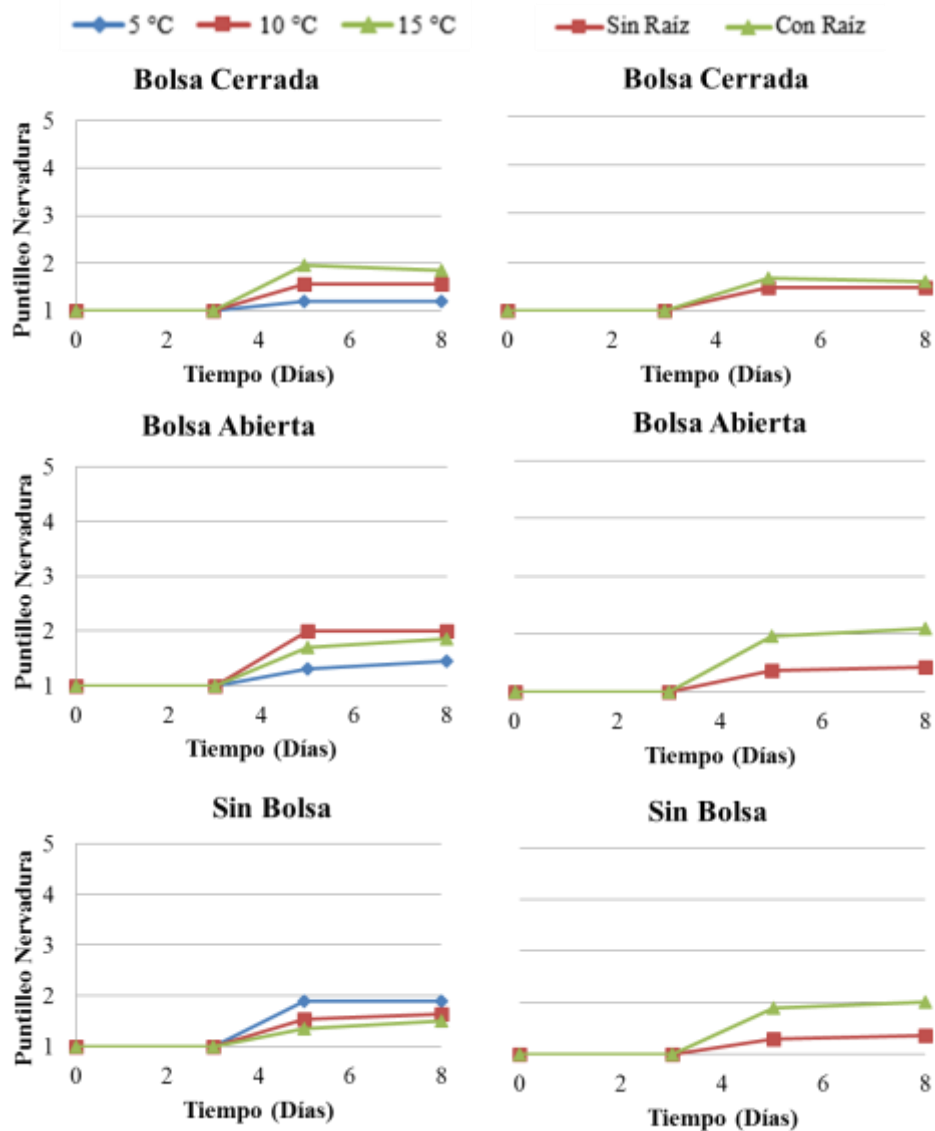
**Turgencia:** Los resultados de los cambios en la turgencia de la lechuga (Figura 11) fueron similares a los de la apariencia fresca, atribuido a que la pérdida de humedad incide directamente en la turgencia de los tejidos y esta a su vez en la apariencia del producto. Los productos almacenados en bolsas cerradas mantuvieron una turgencia significativamente mayor que la que se encontraba en bolsas abiertas y mucho mejor que el producto sin empacar. Al igual que con la apariencia, el efecto del corte de la raíz aceleró la pérdida de turgencia en el producto en bolsas cerradas, no tuvo efecto en el de las bolsas abiertas, pero ayudó a retener la turgencia en el producto sin bolsa, mostrando un claro deterioro a partir del quinto día de almacenamiento. Por otro lado, el corte de la raíz no mostró efectos significativos durante los primeros ocho días de almacenamiento (Figura 11), aunque al dejar el producto por unos días más, ayudó a conservar la turgencia de los productos empacados en bolsas cerradas y abiertas (Figura A1.2 y Cuadro A.4 en anexos), pues según el gráfico de la Figura 11 la presencia de raíz provocó una pérdida de turgencia significativamente mayor que las muestras que no tenían raíz para las muestras sin empaque.



**Figura 11.** Efecto del tipo de empaque y el corte de la raíz sobre la turgencia de la lechuga durante 8 días de almacenamiento a 5, 10 y 15 °C.

**Puntillero de nervaduras:** Los síntomas de daños por puntillero en la nervadura de las hojas de lechuga aparecieron a partir del día 5 de almacenamiento, independientemente de la temperatura de almacenamiento, el corte de la raíz y el tipo de empaque (Figura 12, A1.3 y Cuadro A.5). En general, la severidad de este daño se mantuvo en valores de dos o menos para todos los tratamientos y fue significativamente menor ( $p \leq 0.05$ ) cuanto menor era la temperatura de almacenamiento y cuando se cortó la raíz de la lechuga, lo que se podría atribuir a que a menores temperaturas los procesos metabólicos son más lentos. Cuando se usaron bolsas abiertas, o se mantuvo el producto sin bolsa los síntomas de puntillero

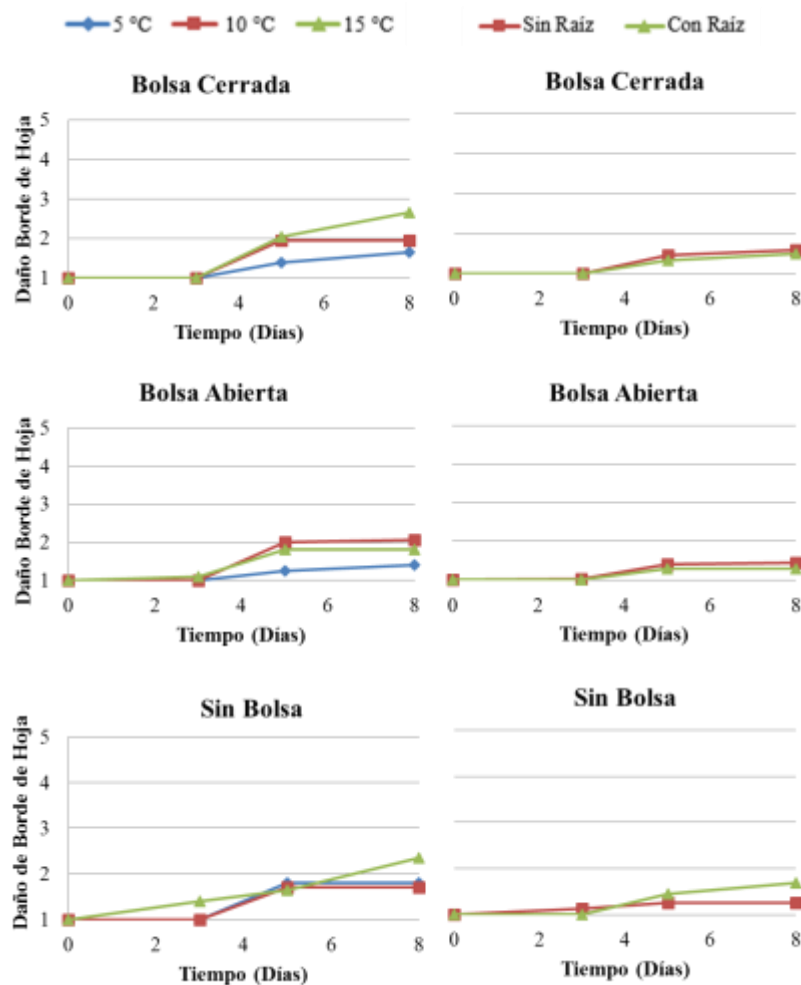
en las nervaduras fueron menores a partir del quinto de día de evaluación para las muestras de lechuga con raíz, y la remoción de la misma parece haber contribuido a reducir estos daños.



**Figura 12.** Efecto del tipo de empaque y el corte de la raíz sobre el puntilleo de nervadura de la lechuga durante 8 días de almacenamiento a 5, 10 y 15 °C.

**Daño en borde de hoja:** Los daños en los bordes de las hojas de la lechuga (Figura 13) se detectaron a partir del quinto día para el producto almacenado a 5 y 10 °C y desde el día 3 para el que estaba a 15 °C, sin embargo, los daños fueron leves (dos o menos) para todas las temperaturas y condiciones de empaque durante los primeros 8

días. El deterioro fue significativamente menor para el producto almacenado a 5 °C y cuando se cortó la raíz (Cuadro A.6), mientras que no se encontraron diferencias significativas entre las muestras almacenadas a 15 °C. El material de empaque no parece haber afectado esta variable, por lo que es posible que ésta no esté directamente relacionada con la pérdida de humedad, y que no se deba a quemaduras por fricción con el aire, pues aún el producto en bolsa cerrada mantuvo bajos niveles del daño para todas las condiciones de almacenamiento.

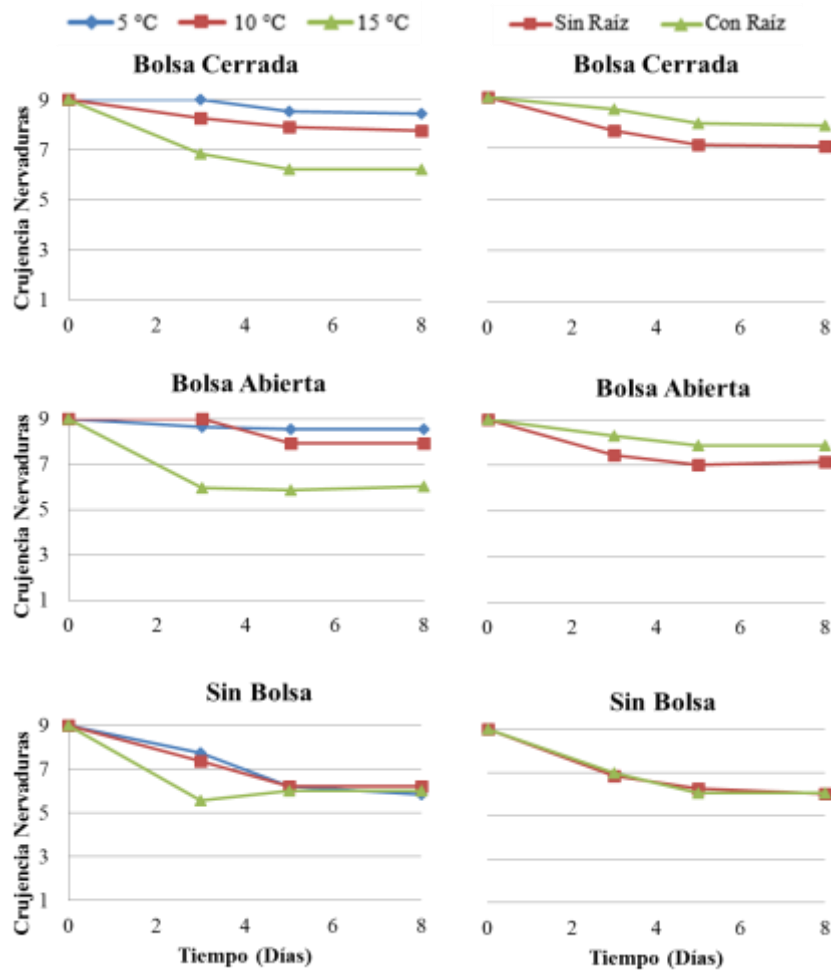


**Figura 13.** Efecto del tipo de empaque y el corte de la raíz sobre el daño de borde de hoja de la lechuga durante 8 días de almacenamiento a 5, 10 y 15 °C.

**Crujencia de nervaduras:** Con referencia a los resultados obtenidos para el parámetro de crujencia en las nervaduras de las hojas (Figura 14, A1.5 y Cuadro A.7

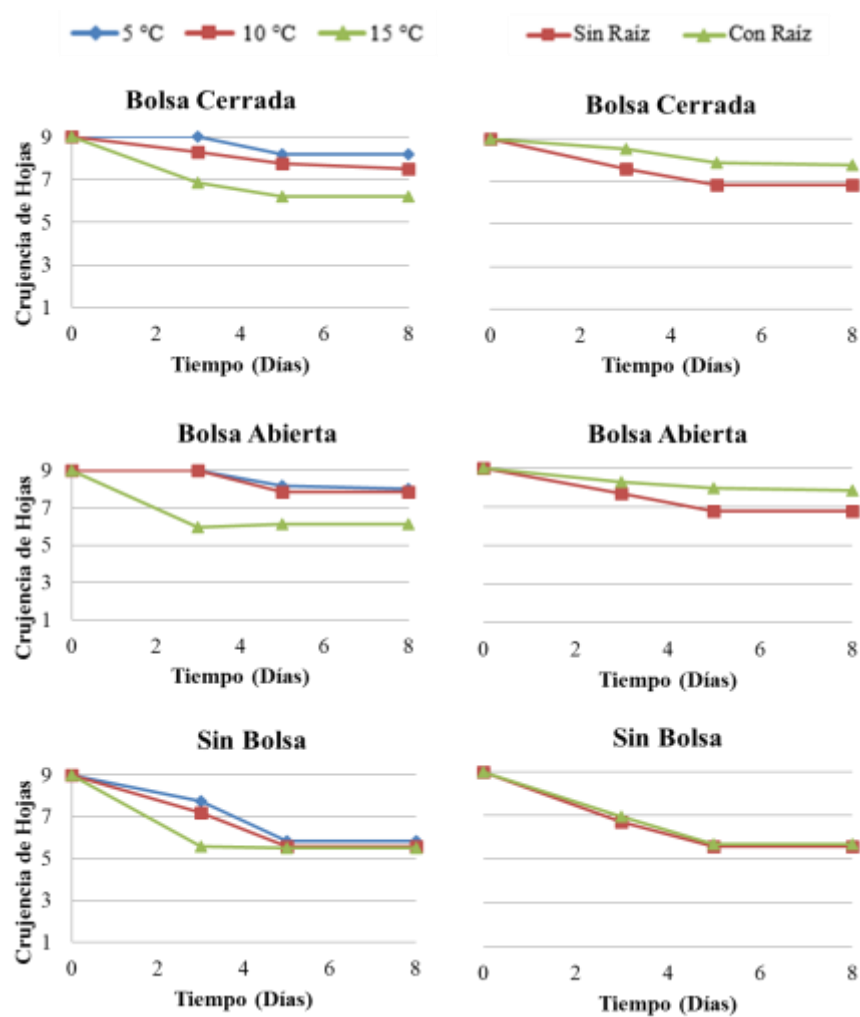


de anexos), se encontró que se mantuvo significativamente más alta en el producto almacenado a 5 °C y al aumentar la temperatura, se redujo significativamente, para los productos en bolsa cerrada y abierta, y para el producto sin empacar, se redujo rápidamente para todas las temperaturas. La protección del empaque en bolsa cerrada es evidente para conservar la crujencia de las nervaduras de las hojas. El uso de empaques abiertos o de producto sin empacar contribuyó a la pérdida de crujencia, atribuida a la pérdida de humedad del producto. Al cortar la raíz, la crujencia se redujo significativamente con respecto al producto con raíz, para el producto empacado en bolsas cerradas o abiertas, y no tuvo efecto significativo para el que no se empacó, cuya crujencia se redujo rápidamente para el producto con o sin raíz.



**Figura 14.** Efecto del tipo de empaque y el corte de la raíz sobre la crujencia de nervadura de la lechuga durante 8 días de almacenamiento a 5, 10 y 15 °C.

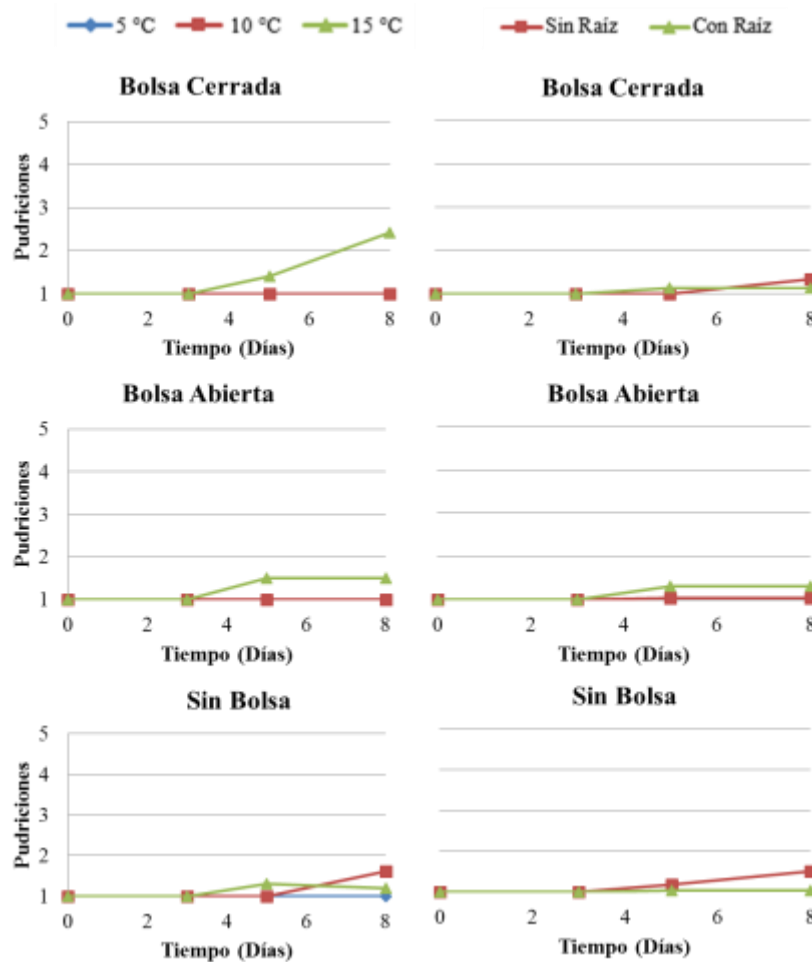
**Crujencia de hojas:** Por su parte, la crujencia de las hojas, (Figura 15, A1.6 y Cuadro A.8 de anexos) de las lechugas en bolsas abiertas y cerradas se mantuvo muy bien a 5 y 10 °C durante 8 días, pero disminuyó rápida y significativamente a 15 °C durante los primeros días de almacenamiento. El producto sin empaacar, perdió la crujencia rápidamente, independientemente de la temperatura, atribuido a la pérdida de humedad. El corte de la raíz favoreció la pérdida de turgencia de las hojas para el producto en bolsas abiertas y cerradas, pero no tuvo efecto significativo en el producto sin empaacar.



**Figura 15.** Efecto del tipo de empaque y el corte de la raíz sobre la crujencia en hojas de la lechuga durante 8 días de almacenamiento a 5, 10 y 15 °C.

**Pudriciones:** La Figura 16, A1.7 y Cuadro A.9 de anexos muestran que el uso de bajas temperaturas redujo significativamente la aparición de los síntomas de pudriciones en las lechugas, independientemente de las condiciones de empaque. Para la lechuga almacenada a 5 °C no se registraron síntomas de pudriciones hasta los 15 días de almacenamiento, independientemente de las condiciones de empaque. El corte de la raíz no afectó significativamente la presencia de pudriciones durante los primeros 8 días de almacenamiento, los primeros síntomas se observaron a los 11 días de almacenamiento. Para el producto almacenado a 10 °C, se observaron algunas pudriciones a partir del día 8 y desde el día 6 para el producto almacenado a 15 °C, lo cual realza la importancia del almacenamiento a bajas temperaturas como herramienta para extender la vida útil de la lechuga. El uso de bolsas abiertas y cerradas no contribuyó significativamente con la reducción de los síntomas de pudriciones, e incluso, a 15 °C, favoreció la aparición de pudriciones, lo cual se explica por el ambiente de alta humedad dentro del empaque y la temperatura elevada. Con respecto a las temperaturas de almacenamiento se observa que una temperatura alta como la de 15 °C favorece la aparición de pudriciones en las muestras desde el día 6 de almacenamiento y una temperatura de 5 °C protegió a las muestras de pudriciones hasta por 13 días. Finalmente en lo que se refiere a la presencia o no de raíz y la afectación de las muestras por pudriciones afecta mayormente cuando la lechuga es almacenada a 5 °C, pues las muestras que contaban con raíz presentaron pudriciones más graves en promedio que las almacenadas sin raíz. Para las otras dos temperaturas la tendencia es similar para las muestras que contaban con raíz y sin raíz. El ANOVA realizado para este parámetro revela que las pudriciones se incrementan significativamente a partir del día 4 a una temperatura de 15 °C en los tratamientos en bolsa cerrada y bolsa abierta; las temperaturas de 5 y 10 °C no presentaron diferencias significativas entre sí tanto para bolsa cerrada como para bolsa abierta. Los tratamientos en bolsa cerrada a una temperatura de almacenamiento de 15 °C fueron los que en promedio presentaron la mayor afectación por pudriciones al último día del análisis. Las lechugas que no tenían ningún empaque (sin bolsa) no presentaron diferencias significativas a lo largo del

almacenamiento independientemente de la temperatura. Con respecto a la presencia o no de raíz; se presentaron diferencias significativas únicamente en el caso del empaque bolsa abierta a partir del quinto día hasta el octavo.

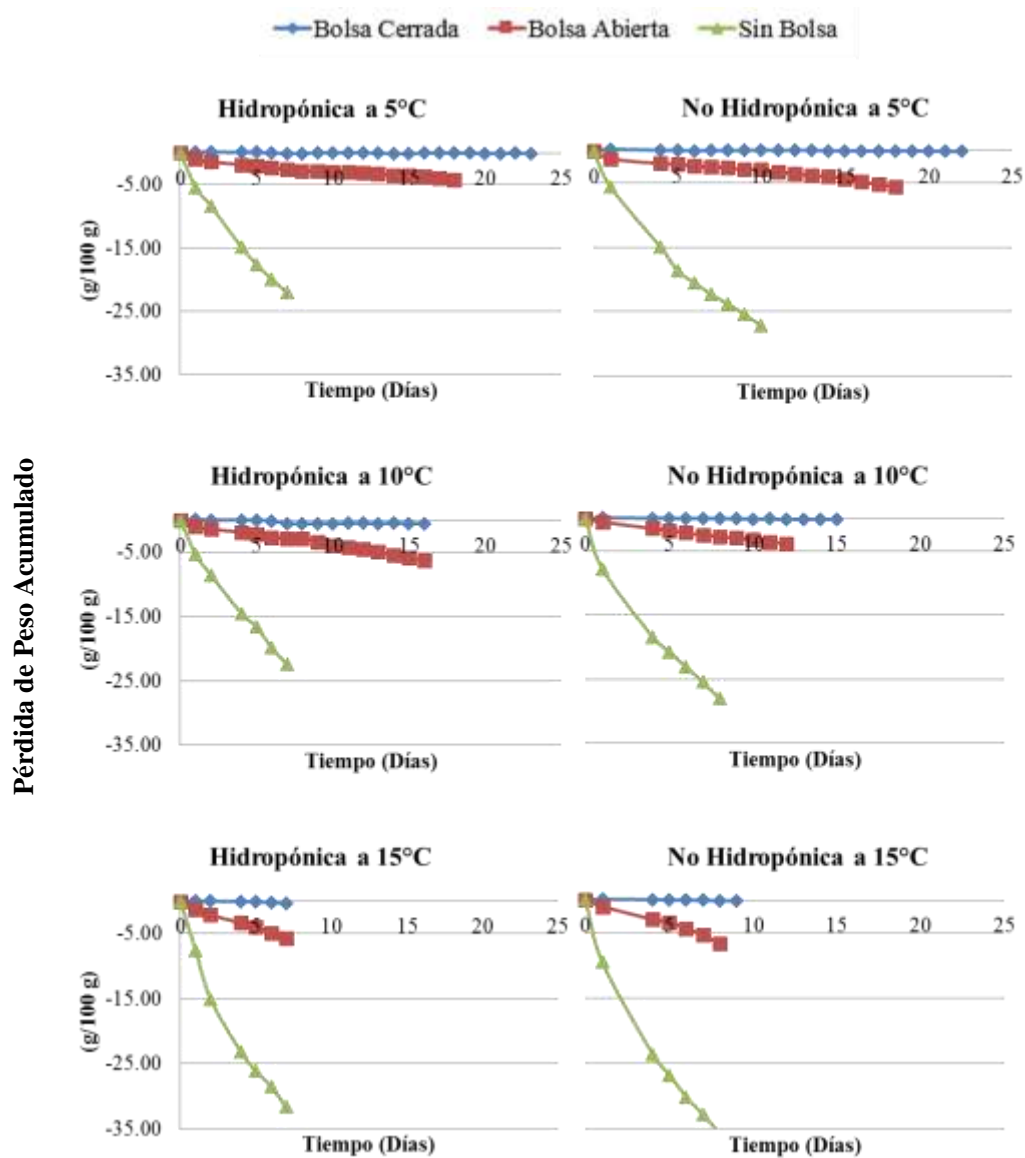


**Figura 16.** Efecto del tipo de empaque y el corte de la raíz sobre pudriciones de la lechuga durante 8 días de almacenamiento a 5, 10 y 15 °C.

**Ensayo 2. Efecto del sistema de producción de lechuga sobre la pérdida de peso, el coeficiente de transpiración y la calidad durante el almacenamiento.**

**Pérdida de Peso Acumulado:** Las Figuras 17 y 18 muestran los resultados de la pérdida de peso acumulada de lechugas hidropónicas y no hidropónicas empackadas bajo las mismas condiciones de humedad relativa del primer ensayo (bolsa cerrada, abierta y sin bolsa) y almacenadas a 5, 10 y 15 °C. Los resultados de la comparación

del efecto de la temperatura de almacenamiento y del método de producción se muestran en la Figura 17.



**Figura 17.** Efecto de las condiciones de empaque y el método de producción sobre las pérdidas de peso de la lechuga durante el almacenamiento.

Se encontró que la lechuga pierde peso a lo largo de todo el almacenamiento, independientemente de la temperatura, el sistema de producción y las condiciones de humedad relativa dadas por el tipo de empaque. Siendo el uso de empaques el que tuvo una mayor incidencia sobre la pérdida de peso, pues el producto almacenado sin

bolsa, pierde peso rápidamente (Figura 17) y al igual que como se observó en el primer ensayo, las pérdidas fueron mínimas al usar bolsas cerradas, moderadas con bolsa abierta y grandes para el producto sin bolsa.

La temperatura de almacenamiento, afectó significativamente la pérdida de peso acumulada del producto sin empacar, pero no tuvo efecto cuando se usaron bolsas abiertas o cerradas (Figura 18 y Cuadro A.10 de anexos). Las pérdidas fueron significativamente mayores (más del 30 %), con las bolsas abiertas y sin bolsa y a 15 °C, respecto a 5 y 10 °C. Estos resultados se atribuyeron a que para esas condiciones, no había ninguna barrera entre el producto y el ambiente, por lo que las diferencias entre el gradiente de presiones de vapor de agua dentro de la lechuga (ambiente saturado, 95-100 % HR) y en el espacio exterior, correspondiente a 74-90 % HR y el movimiento del aire promueven la transferencia del agua en forma de vapor de agua, del producto al ambiente que lo rodea. Cuando la HR es igual, no hay gradientes de presión de vapor y por tanto el resultante de la transferencia de masa es nulo (caso de bolsas cerradas, en las cuales se forma un microambiente dentro de las bolsas, con una humedad relativa de 95-100 %). Con las bolsas abiertas, se forma un microambiente de alta humedad relativa que protege el producto, pero la parte expuesta al aire del cuarto frío (puntas de las hojas), están en contacto con un ambiente de menor HR (74-90 %), que facilitaría la pérdida de humedad por esa zona, y en el caso de la lechuga sin empacar, una gran proporción de la superficie del producto está expuesta al aire de los cuartos fríos, con una HR menor a la del interior del producto, causando mayores pérdidas a lo largo del tiempo de almacenamiento.

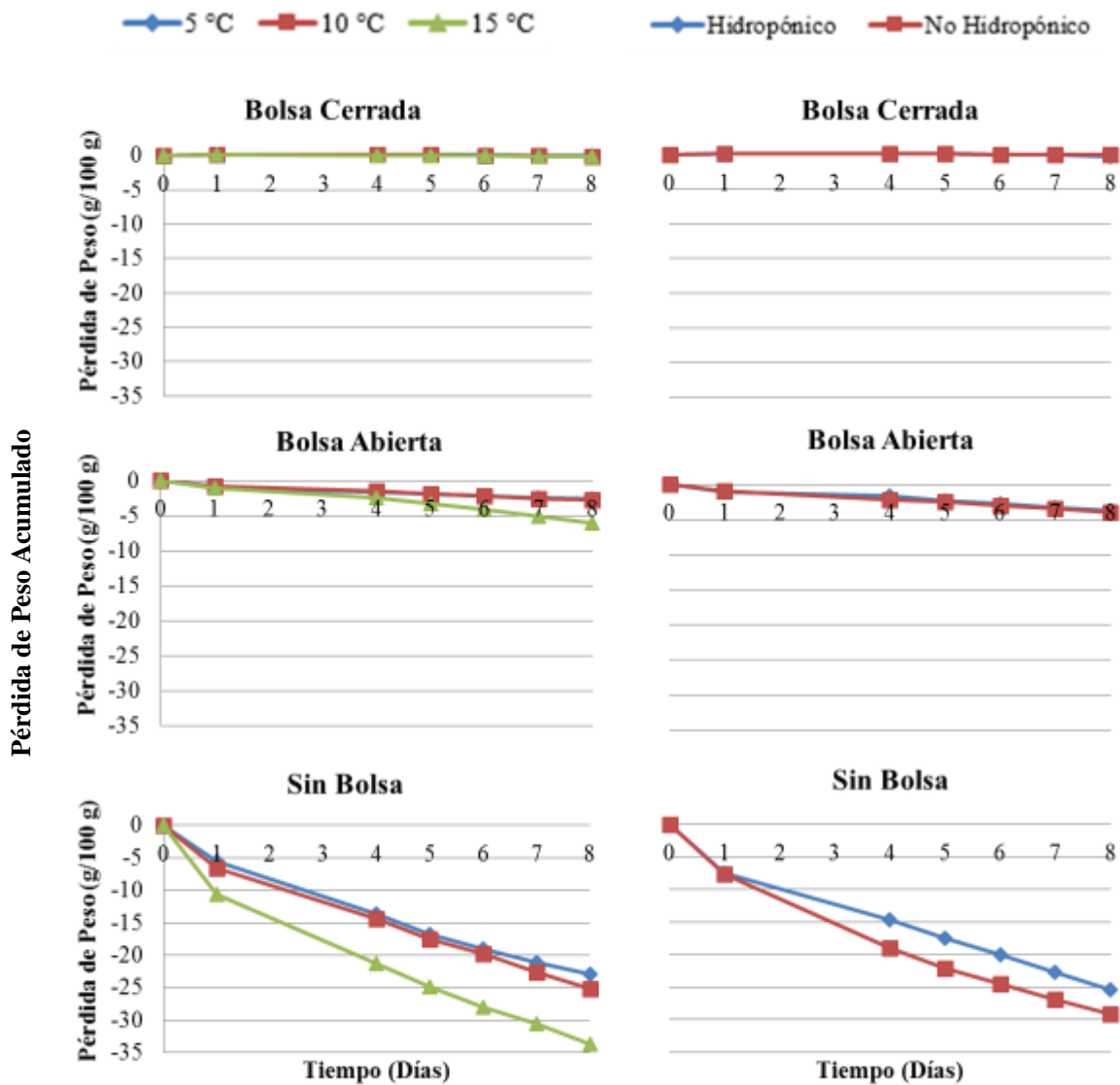
De las curvas de pérdida de peso de las lechugas sin empacar (Figura 17), almacenadas a distintas temperaturas, se observa que estas aumentaron a lo largo del almacenamiento y que fueron mayores conforme la temperatura de almacenamiento usada fue mayor. Durante el primer día de almacenamiento, las pérdidas oscilaron entre el 5 y 10 % del peso del producto, perdiendo prácticamente su valor comercial, pues según Ben-Yehoshua & Rodov (2003), pérdidas superiores al 5 % en lechuga, sobrepasan los máximos tolerables para conservar su calidad. Las pérdidas crecen rápidamente, siendo un poco menores, pero no aceptables, cuando la temperatura de

almacenamiento era inferior, y sin diferencias entre el sistema de producción de la lechuga; antes de los diez días, las pérdidas fueron del orden del 20 % a 5 °C y 35 % a 15 °C. Estos altos niveles de pérdida de peso, inciden directamente en el valor comercial del producto, pues con ellos, la apariencia, textura y dimensiones de la lechuga se deterioran significativamente. Estos resultados señalan la necesidad de proteger la lechuga contra la pérdida de humedad, con una barrera que la separe del ambiente en el ambiente o espacios refrigerados, o bien el mantener ambientes de alta humedad relativa rodeando a este producto. Una práctica común en los puntos de venta, es el uso de nebulizadores para mantener la superficie de la lechuga expuesta al ambiente húmeda. Al hacerlo, se inhibe la salida de humedad de la parte interna de la lechuga y esta se mantiene fresca. Sin embargo, el exceso de humedad puede favorecer la aparición de pudriciones, por lo que esta práctica se debe realizar solamente en los puntos de venta.

Contrastando con estos resultados, las pérdidas de peso de las lechugas en bolsas cerradas fueron despreciables para todas las temperaturas evaluadas, por la protección que brindó la bolsa. El uso de la bolsa abierta, mostró resultados intermedios, dado que la protección del producto fue parcial, por exponer una parte de la lechuga directamente al ambiente.

Las diferencias en la pérdida de peso acumulada de la lechuga producida con los dos sistemas de producción en campo: hidropónicas y tradicionales, no fueron significativas para el producto con bolsa cerrada o abierta, aunque mostraron pérdidas menores para la lechuga hidropónica cuando se almacenó sin empacar y las pérdidas sobrepasaron el 15 %, por lo que esta diferencia no se consideró relevante, dado que para ese nivel de pérdidas, el deterioro del producto es mucho y así su pérdida comercial. Se esperaba que el sistema de producción podría haber tenido un efecto sobre la pérdida de peso, por la forma de administración de los nutrientes y la absorción por parte de la planta, la disponibilidad de agua y separación del suelo, pero las diferencias no fueron significativas.

Los resultados señalan como principal factor para el control de la pérdida de peso acumulada, la protección de la lechuga mediante una barrera a la transferencia de masa, como el empaque cerrado, en el cual se puede generar una atmósfera de alta humedad relativa, y a la vez, inhibir el intercambio de masa con el ambiente exterior.



**Figura 18.** Efecto de la temperatura y el método de producción sobre la pérdida de peso de la lechuga empacada en bolsa cerrada, abierta o sin bolsa.

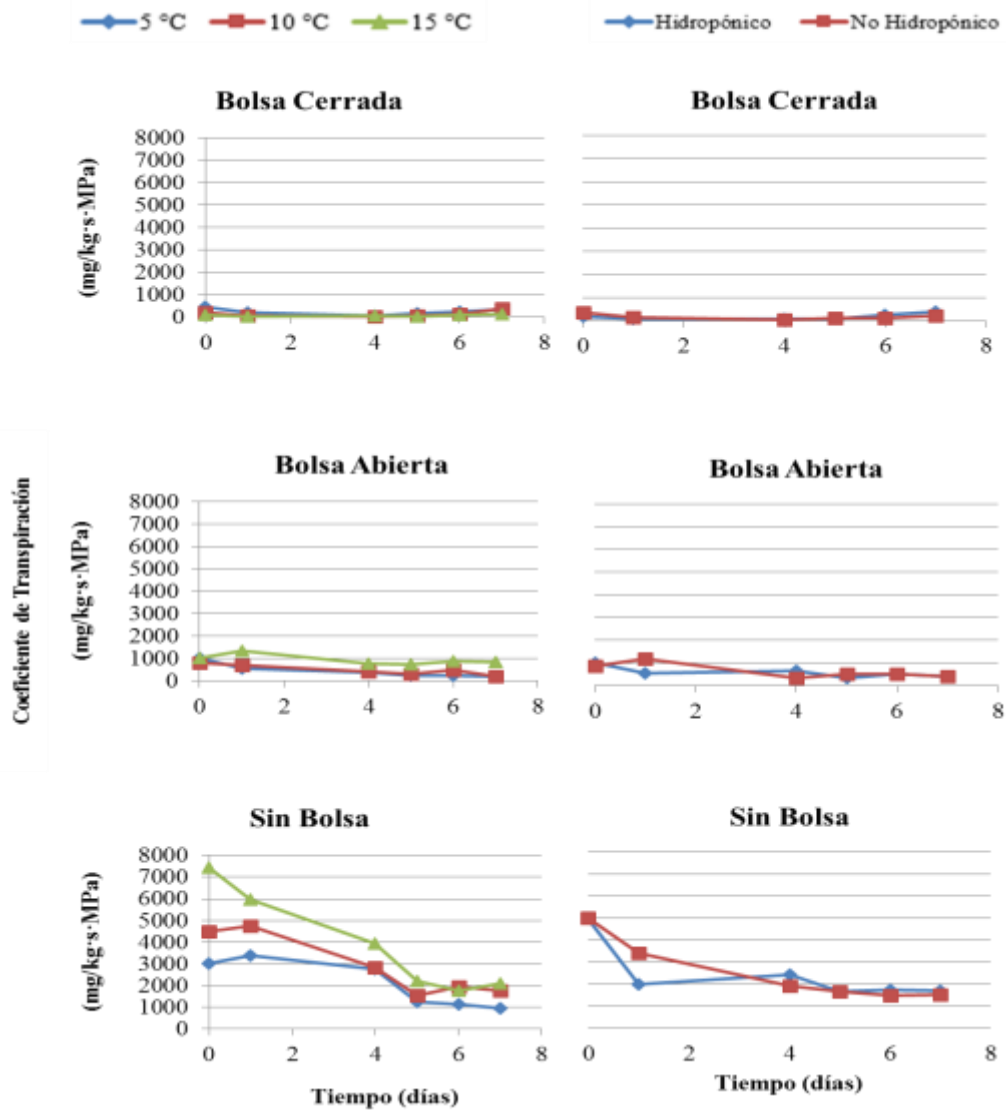
**Coefficientes de transpiración:** Los coeficientes de transpiración de la lechuga almacenada a 5, 10 y 15 °C, para cada una de las tres condiciones de empaque para



producto hidropónico y no hidropónico se muestran en el Cuadro A.11 del anexo y la Figura 19. Se encontró que los coeficientes de transpiración fueron del orden de 31 a 370, 350 a 1180 y 1500 a 7500  $\text{mg s}^{-1} \text{kg}^{-1} \text{MPa}^{-1}$ , para la lechuga empacada en bolsa cerrada, bolsa abierta y sin bolsa, respectivamente. También se observó, que los coeficientes tendieron a ser mayores durante el primer día de almacenamiento y de manera más acentuada para el producto empacado sin bolsa, y posteriormente se mantenían con poca variación durante la primera semana de almacenamiento. Para la lechuga sin bolsa, el coeficiente de transpiración se redujo al 20 % después del primer día de almacenamiento.

En general no se encontró efecto significativo de la temperatura ni del sistema de producción sobre los coeficientes de transpiración, con excepción de la lechuga empacada sin bolsa, para la cual, los coeficientes de transpiración fueron ligeramente inferiores a partir entre el segundo y cuarto día de almacenamiento

Los resultados apuntan a la necesidad de un pronto empaque después de la cosecha para reducir las posibles pérdidas de humedad, que en producto sin empacar ocurren rápidamente durante el primer día de almacenamiento.



**Figura 19.** Efecto de la temperatura y el método de producción sobre el coeficiente de transpiración de la lechuga durante el almacenamiento.

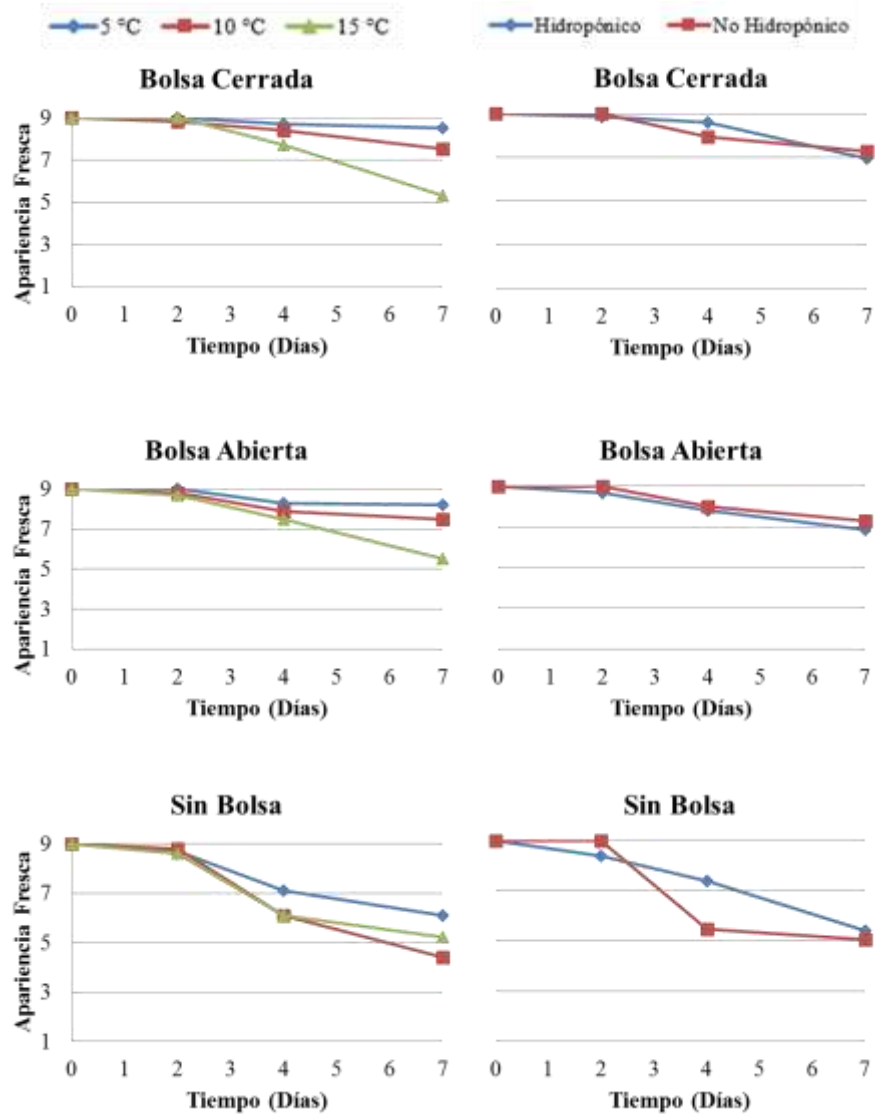
**Cambios en la calidad de la lechuga:** Los cambios en la calidad de la lechuga se muestran en las Figuras 20 a 27 durante los primeros 7 días de almacenamiento, para efecto de comparar entre tratamientos.

**Apariencia Fresca:** La lechuga almacenada a 5 °C fue la que mantuvo mejor su apariencia fresca a lo largo del almacenamiento (Figura 20, Figura A2.1 y Cuadro A12 de anexos) hasta por 23 días, para el producto empacado en bolsas cerradas y

abiertas, respectivamente, manteniendo la calificación de la apariencia mayor de 7, en contraste con la lechuga almacenada a 15 °C, que después de 4 o 5 días, mostró síntomas de deterioro considerables, para todas las condiciones de empaque, lo cual era de esperar, pues al reducir la temperatura de almacenamiento la tasa metabólica del producto se reduce, por lo que la temperatura sí tuvo efecto significativo y considerando que para la lechuga se recomiendan temperaturas de almacenamiento entre 0 y 5 °C (Kader, 2011). Por otro lado, la apariencia de la lechuga se redujo rápidamente cuando se almacenó sin bolsa, atribuido a la protección que esta brinda, generando un microambiente de alta humedad relativa alrededor del producto.

El sistema de producción de la lechuga no tuvo efecto significativo sobre la apariencia de la lechuga, pues tanto la tradicional como la hidropónica mantuvieron calificaciones de la apariencia similares a lo largo del almacenamiento.

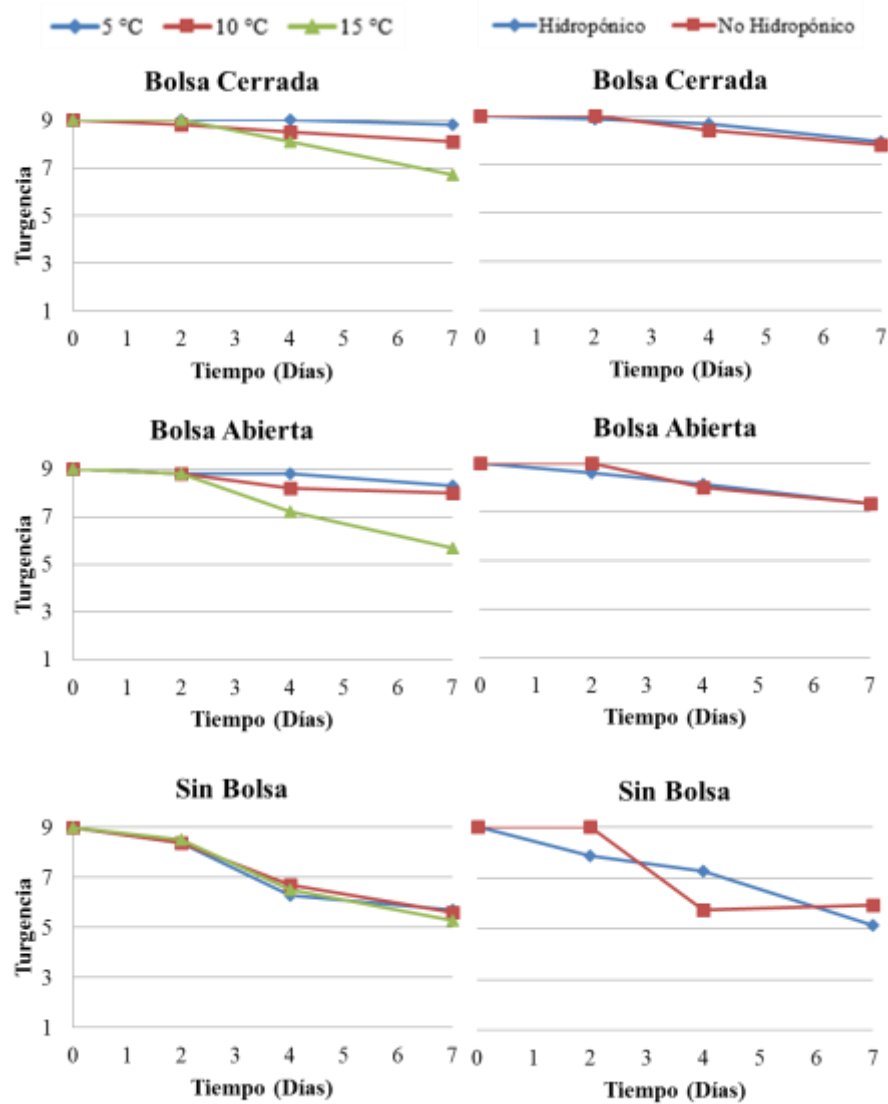
Al contrastar estos resultados, con los discutidos sobre la pérdida de peso, se observa que a los 2 días, el producto sin bolsa almacenado a 15 °C, ya mostraba pérdidas de peso entre 10 y 15 %, no obstante aún recibió calificaciones aceptables en la apariencia, pero el deterioro fue reconocido hasta el día 4 de almacenamiento. Este comportamiento podría explicarse por la migración de humedad del centro de la lechuga a la superficie, lo cual podría haber ayudado a mantener la apariencia de las hojas externas por un mayor tiempo, pero el proceso de deshidratación continuó en los siguientes días y así, el deterioro de la apariencia. Los resultados de la apariencia fresca del producto permiten concluir que la lechuga almacenada sin bolsa a cualquier temperatura y con o sin empaque a 15 °C pierde su valor comercial desde los cuatro días de almacenamiento, y que la reducción de 10 a 5 °C, ayuda a conservar la apariencia del producto significativamente.



**Figura 20.** Efecto del tipo de empaque y el método de producción sobre la apariencia fresca de la lechuga durante 7 días de almacenamiento a 5, 10 y 15 °C.

**Turgencia:** Los cambios en la apariencia fresca del producto coinciden con los de la pérdida de turgencia (Figura 21 Cuadro A.13 en anexos), así la lechuga en bolsa cerrada mantuvo su turgencia tanto a 5 °C por al menos una semana, en contraste con la almacenada a 10 y 15 °C o sin bolsa, cuya turgencia se redujo significativamente a partir del cuarto día de almacenamiento, y en ambos casos, se encontró que el sistema de siembra no tuvo efecto significativo sobre estas variables. El sistema de

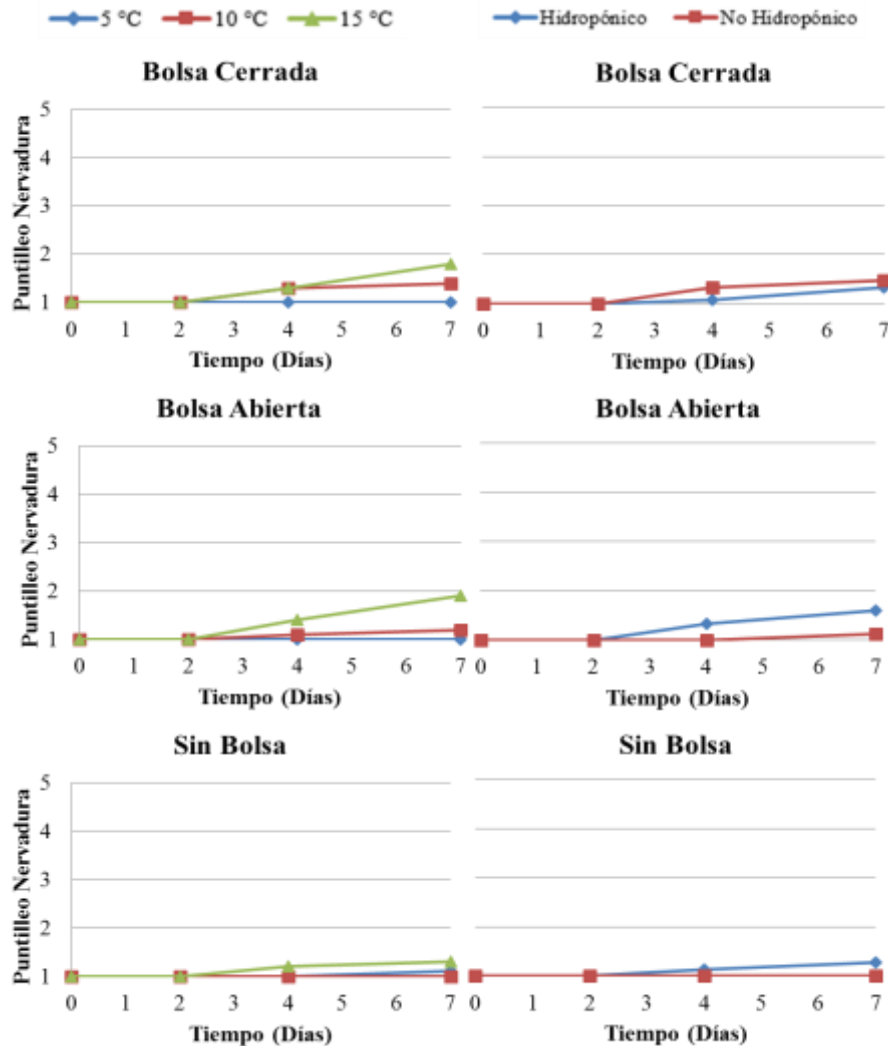
producción no mostró efectos significativos sobre la turgencia de la lechuga almacenada en bolsa cerrada y bolsa abierta, aunque la lechuga tradicional almacenada sin bolsa reveló una reducción importante de la turgencia, después de 4 días de almacenamiento.



**Figura 21.** Efecto del tipo de empaque y el método de producción sobre la turgencia de la lechuga durante 7 días de almacenamiento a 5, 10 y 15 °C.

**Puntilleo en nervadura:** Los resultados de la presencia de puntilleo en la nervadura de las hojas de lechuga se muestran en las Figura 22 y A.14 de anexos. Se encontró

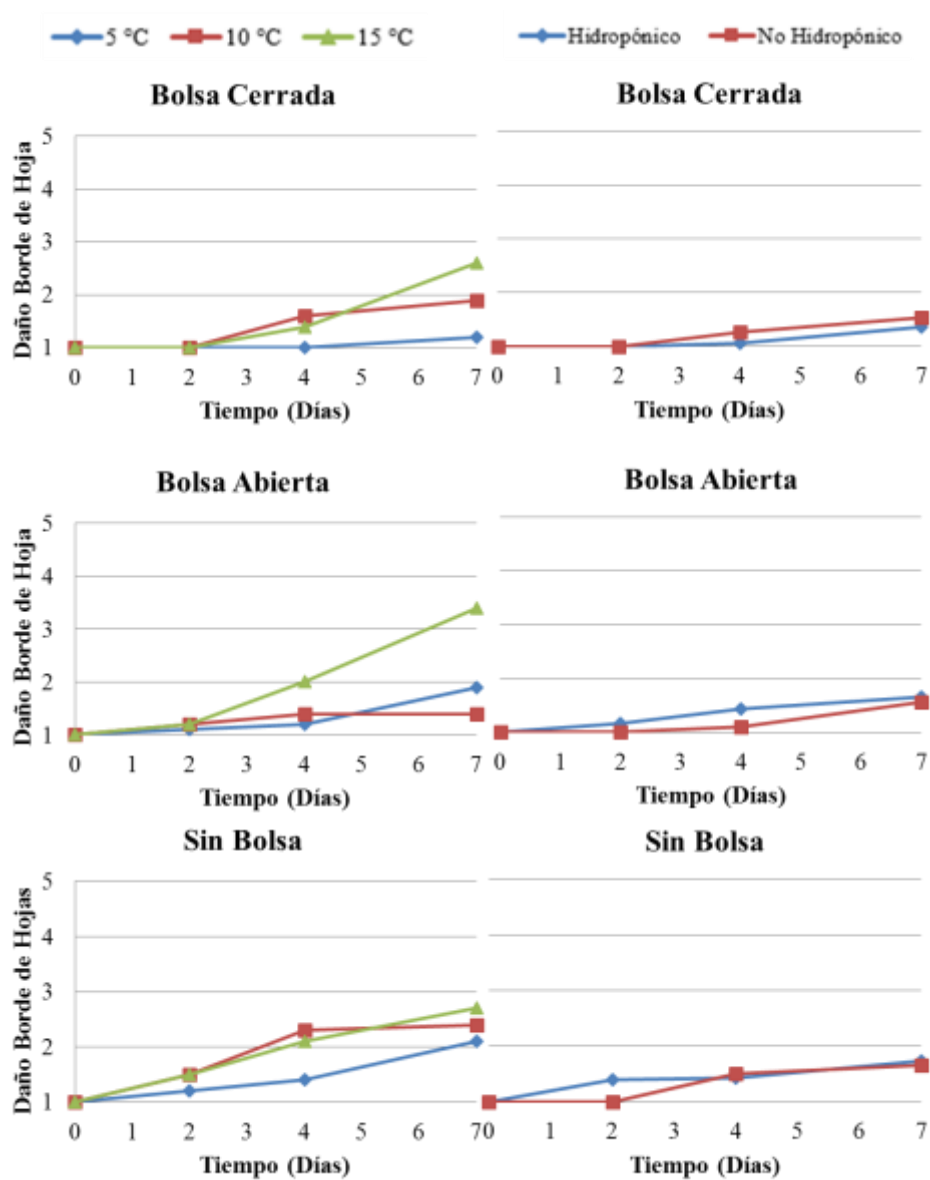
que este daño se registró a partir del cuarto día en la lechuga almacenada sin bolsa o con bolsa abierta, a 10 y 15 °C, pero no en la que se almacenó a 5 °C. Sin embargo, en general, el daño fue leve (nivel 2), mostrando una tendencia ligeramente creciente para el producto almacenado a 15 °C. El sistema de producción, no tuvo efecto significativo sobre el puntillaje de la nervadura de las hojas.



**Figura 22.** Efecto del material de empaque y el método de producción sobre el puntillaje de nervadura de la lechuga durante 7 días de almacenamiento a 5, 10 y 15 °C.

**Daño en borde de hoja:** Por su parte, los daños en borde de hoja (Figura 23 y Cuadro A.15 de anexos), que consisten en oscurecimiento de los mismos, aparecieron

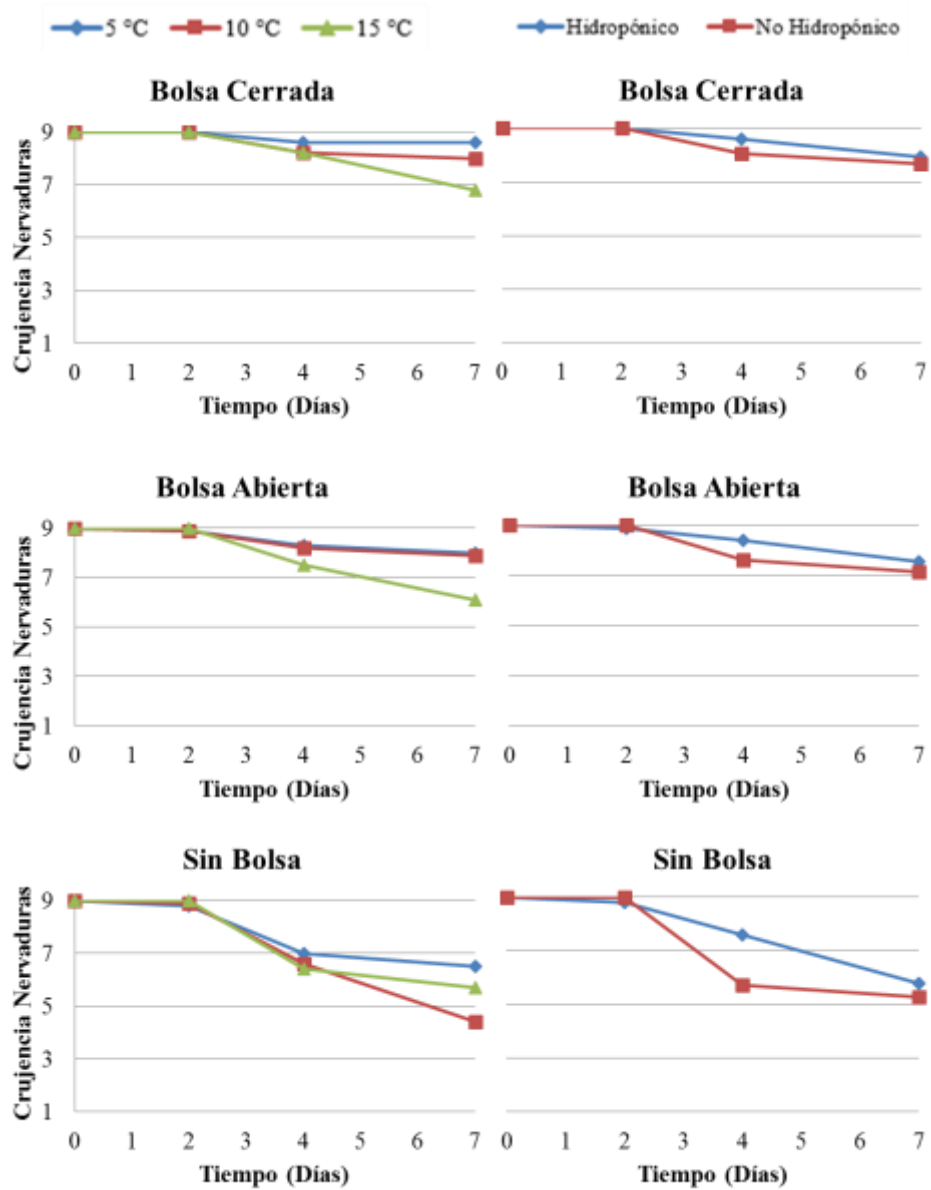
a partir del cuarto día de almacenamiento para la lechuga con bolsa abierta o cerrada, pero desde el día dos cuando no se usó bolsa. El uso de la bolsa tuvo efecto significativo en la reducción de este daño, así como la reducción de la temperatura de almacenamiento. El sistema de producción no tuvo efecto significativo sobre la presencia de los daños en el borde de las hojas de la lechuga durante los primeros 7 días de almacenamiento.



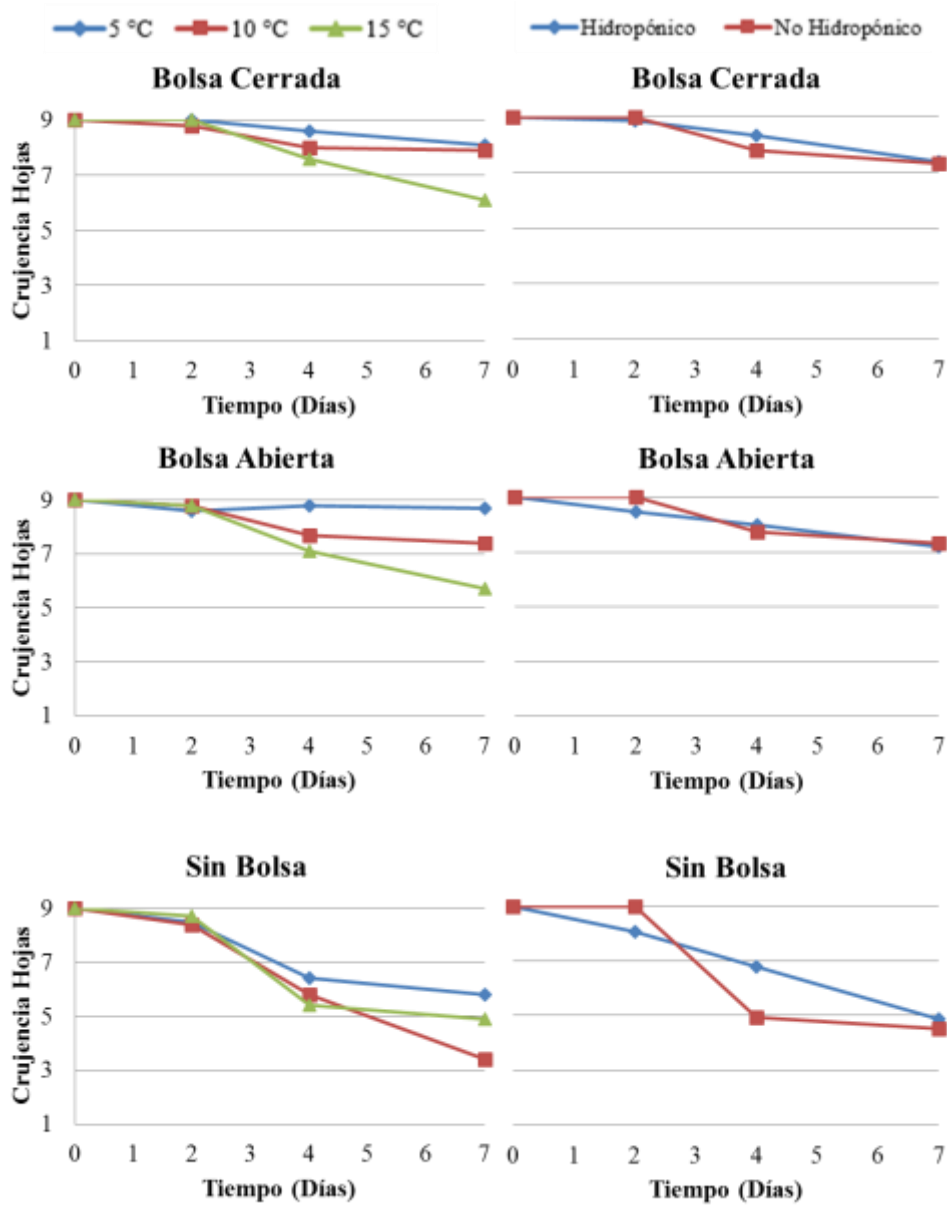
**Figura 23.** Efecto del material de empaque y el método de producción sobre el daño en borde de hoja de la lechuga durante 7 días de almacenamiento a 5, 10 y 15 °C.

**Crujencia de hojas y nervaduras:** En cuanto a la sensación crujiente de las hojas y sus nervaduras, los resultados se muestran en las Figuras 24 y 25 y los Cuadros A.16 y A.17 del anexo. La temperatura de almacenamiento y las condiciones de empaque afectaron significativamente el parámetro de crujencia de las nervaduras y de las hojas. Así, a menor temperatura de almacenamiento, la crujencia se mantuvo mejor, independientemente de la condición de empaque, y con el uso de bolsas cerradas la crujencia de las hojas y nervaduras se mantuvo mejor que con bolsa abierta o sin bolsa, siendo la mejor combinación, el uso de 5 °C y bolsas cerradas. El sistema de producción no tuvo efecto significativo sobre estos parámetros de calidad.





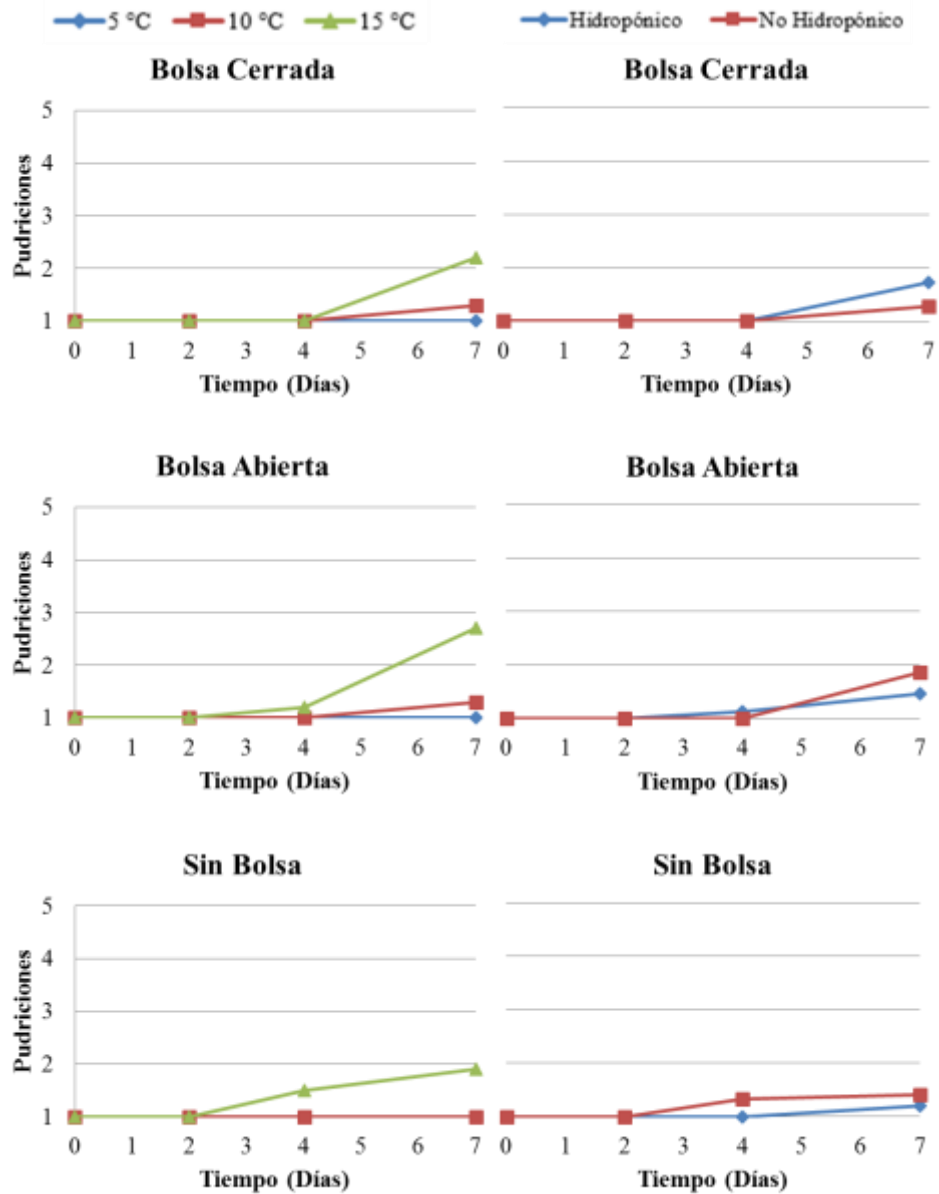
**Figura 24.** Efecto del material de empaque y el método de producción sobre la crujeza en nervaduras de la lechuga durante 7 días de almacenamiento a 5, 10 y 15 °C.



**Figura 25.** Efecto del material de empaque y el método de producción sobre la crujencia en hojas de la lechuga durante 7 días de almacenamiento a 5, 10 y 15 °C.

**Pudriciones:** Por otro lado, la presencia de pudriciones se incluye en la Figura 26 y Cuadro A.18. No se observaron pudriciones en la lechuga almacenada a 5 y 10 °C durante los primeros 7 días de almacenamiento, pero sí para el producto almacenado a 15 °C con y sin bolsa y para el producto sin bolsa, estas se registraron desde el día 4

de almacenamiento. La temperatura de almacenamiento tuvo un efecto significativo en la aparición de pudriciones mientras que el sistema de producción no.

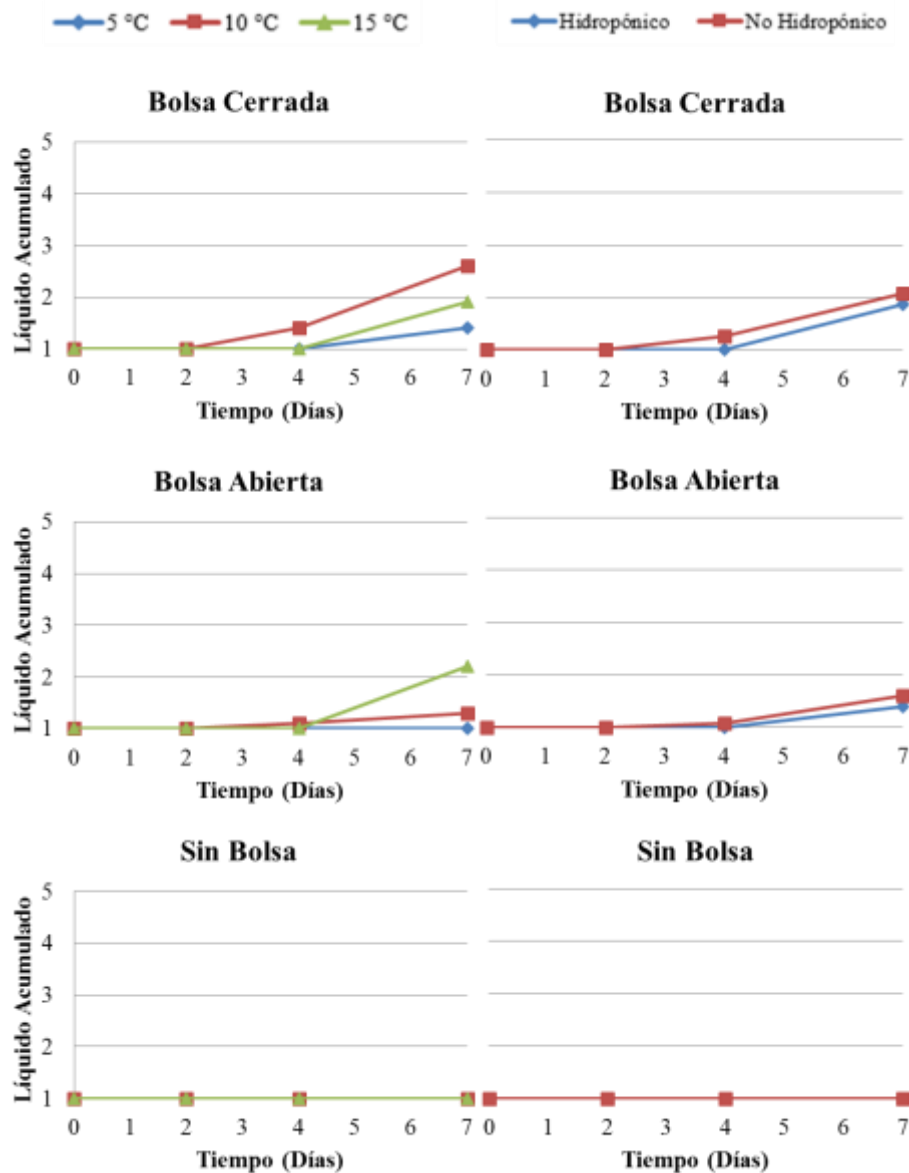


**Figura 26.** Efecto del material de empaque y el método de producción sobre pudriciones de la lechuga durante 7 días de almacenamiento a 5, 10 y 15 °C.

**Líquido acumulado:** Las muestras de lechuga almacenadas en bolsas cerradas o abiertas mostraron poco líquido acumulado dentro de los mismos, a partir del día 2 en las bolsas cerradas y del día 7 en las bolsas abiertas, pero en todos los casos los

niveles fueron bajos (Figura 27). Para la lechuga almacenada a 5 °C, la acumulación fue nula. Con respecto al sistema de producción se determinó que no existen diferencias significativas en cuanto a líquido acumulado independientemente de si las muestras son hidropónicas o no.

Finalmente respecto al parámetro de oscurecimiento de corte de cosecha; ninguna de las muestras analizadas se vio afectada.



**Figura 27.** Efecto del material de empaque y el método de producción sobre líquido acumulado de la lechuga durante 7 días de almacenamiento a 5, 10 y 15 °C.

**Ensayo 3. Cuantificación del efecto de la velocidad del aire sobre la pérdida de peso y el coeficiente de transpiración.**

Las condiciones ambientales de presión de vapor del aire a las que se realizó el ensayo se muestran en el siguiente cuadro.

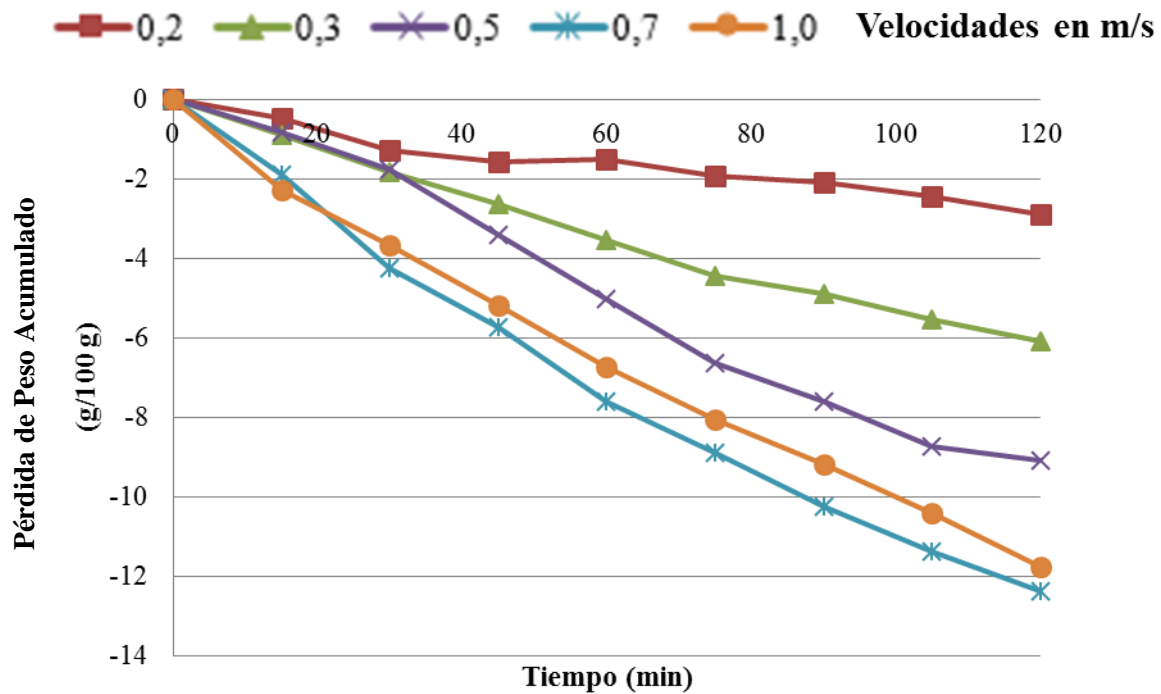
**Cuadro 6.** Condiciones reales de la cámara de secado durante el ensayo 3.

<b>Velocidad nominal (m/s)</b>	<b>Presión de vapor (MPa)</b>	<b>Presión de vapor de saturación (MPa)</b>	<b><math>\Delta P</math> (MPa)</b>
0,2	$2,00 \times 10^{-3}$	$3,20 \times 10^{-3}$	$1,20 \times 10^{-3}$
0,3	$1,95 \times 10^{-3}$	$3,18 \times 10^{-3}$	$1,23 \times 10^{-3}$
0,5	$1,88 \times 10^{-3}$	$2,82 \times 10^{-3}$	$0,94 \times 10^{-3}$
0,7	$1,86 \times 10^{-3}$	$3,14 \times 10^{-3}$	$1,28 \times 10^{-3}$
1,0	$1,88 \times 10^{-3}$	$3,11 \times 10^{-3}$	$1,23 \times 10^{-3}$

**Pérdida de Peso Acumulado:** La Figura 28 muestra los resultados obtenidos de la pérdida de peso acumulada de lechugas para 6 diferentes velocidades de aire dentro del túnel de secado.

La pérdida de peso acumulada aumentó significativamente conforme se incrementaba la velocidad de aire a lo largo de cada ensayo (Figura 28), alcanzando pérdidas superiores al 12 % en las dos velocidades más altas. La velocidad que presentó menos afectación en cuanto a pérdida de peso fue la de 0,20 m/s, pues al final de 120 minutos alcanzó una pérdida cercana al 3 %. Comparando los resultados estadísticos (ANOVA) de la pérdida de peso entre las distintas velocidades (Figura 28 y Cuadro A.20 de anexos), el efecto de la velocidad del aire mostró diferencias significativas a partir de los 45 minutos de tratamiento, aunque la tendencia fue clara desde los primeros minutos de la prueba. Conforme aumentaba la velocidad del aire, la pérdida de peso fue mayor alcanzando pérdidas cercanas al 12 % a los 120 minutos para los tratamientos con circulación de aire a 0,70 y 1 m/s. En contraste, para la velocidad más baja (0,20 m/s) las pérdidas fueron mucho menores, con apenas un 2,5 % de

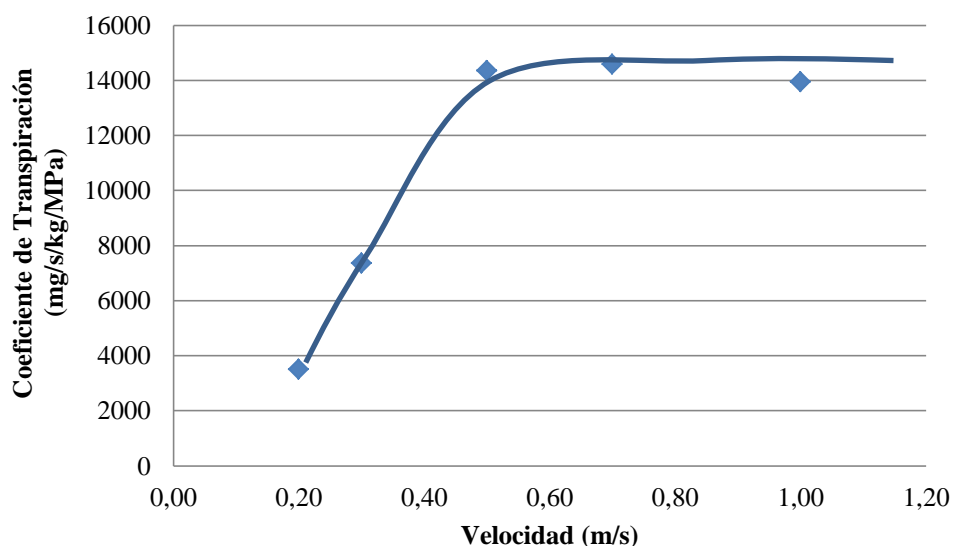
pérdidas en el mismo período de tiempo. Estos resultados evidencia la importancia de la velocidad del aire en la dinámica de la pérdida de peso de la lechuga.



**Figura 28.** Efecto de distintas velocidades de aire sobre la pérdida de peso de la lechuga sin bolsa durante el almacenamiento.

**Coefficientes de transpiración:** La pendiente de las curvas y el coeficiente  $R^2$  de la Figura 28 (Cuadro A.21 de anexos) se utilizó para calcular el coeficiente de transpiración, junto con la diferencia entre la presión de vapor del aire y la presión de saturación a la misma temperatura y los resultados se muestran en la Figura 29 y el Cuadro A.21 del anexo. Los coeficientes variaron entre 3000 y 15000  $\text{mg kg}^{-1} \text{s}^{-1} \text{MPa}^{-1}$  sin cambios a lo largo de la prueba, debido principalmente a que las condiciones de temperatura y humedad relativa durante este ensayo fueron drásticamente diferentes a las utilizadas en los primeros dos ensayos; en este caso se registró un valor máximo de 14769,5  $\text{mg kg}^{-1} \text{s}^{-1} \text{MPa}^{-1}$  para la velocidad de 0,5 m/s. Se observa una tendencia lineal de aumento del coeficiente conforme se aumenta la velocidad del flujo de aire

que alcanza su punto máximo en el valor de 0,5 m/s. A partir de este punto se comienza a dar un descenso en los valores de coeficiente para las últimas dos velocidades hasta registrarse un valor de  $12845,5 \text{ mg kg}^{-1}\text{s}^{-1}\text{MPa}^{-1}$  para la velocidad de 1 m/s.



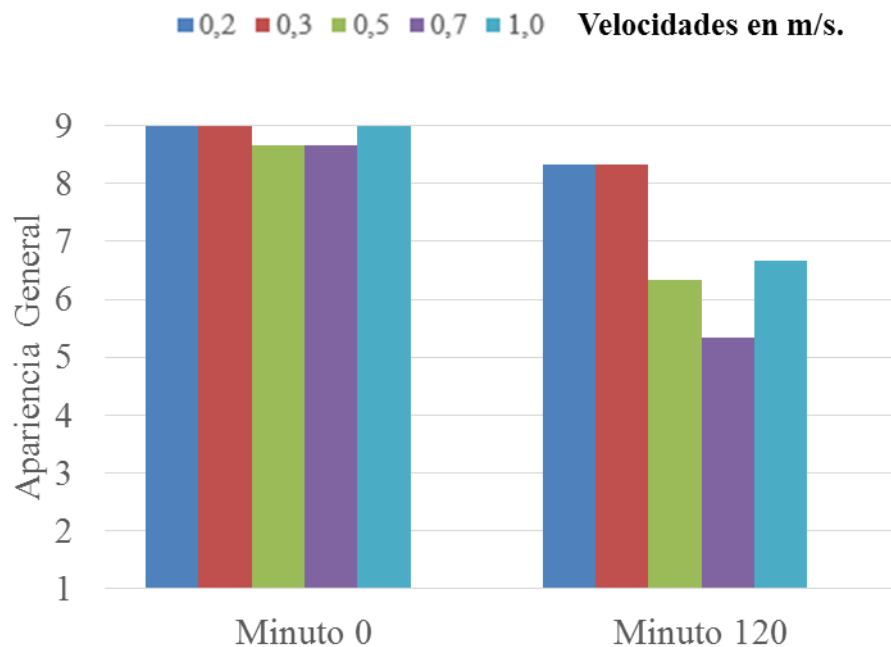
**Figura 29.** Efecto de distintas velocidades de aire sobre el coeficiente de transpiración de la lechuga durante el almacenamiento.

**Cambios en la calidad de la lechuga:** Los cambios en la calidad de la lechuga se muestran en las Figuras 30 a 37.

**Apariencia general:** La apariencia general de la lechuga se deterioró rápidamente a valores inferiores a 7 después de dos horas de tratamiento, cuando la velocidad del aire fue de 0,50 m/s ó superior, que al contrastar con la Figura 28, corresponde a pérdidas de peso de 8,5 a 12 (g/100 g). Cuando se usaron velocidades de 0,20 y 0,30 m/s la apariencia general se mantuvo por arriba de 8 (Figura A3.1 de anexos) y la pérdida correspondiente de peso fue de 6% o menos. Estos resultados se explican porque al usar velocidades mayores, se mantiene un gradiente de presiones de vapor mayores entre el interior del producto y el aire que lo rodea, lo cual favorece el proceso de transferencia de masa, haciéndolo más rápido. Estos resultados ilustran la importancia de reducir la velocidad del aire a la cual se expone un producto durante el

almacenamiento o bien, a la necesidad de colocar una barrera que limite la pérdida de peso, como puede ser un material de empaque o el uso de recubrimientos comestibles. También podría reducirse, aumentando la humedad relativa del cuarto de almacenamiento, pero es posible, que aún almacenando a condiciones cercanas a la saturación, la velocidad del aire contribuya a la pérdida de masa del producto.

El análisis de varianza para la apariencia general (Figura 30 y Cuadro A.22 de anexos) revela que existen diferencias significativas a partir de la velocidad de 0,5 m/s.



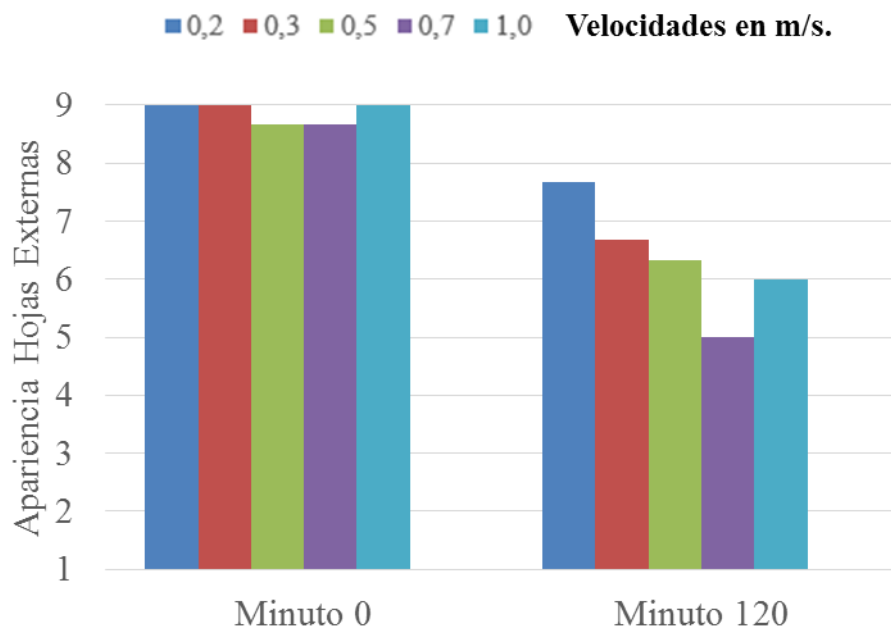
**Figura 30.** Efecto de distintas velocidades de aire sobre la apariencia general de la lechuga durante dos horas.

**Apariencia hojas externas:** Las hojas externas de la lechuga se deterioraron más rápidamente y mostraron una tendencia similar a la observada para la apariencia general de la lechuga, en que a medida que aumentaba la velocidad, ésta se deterioraba (Figura A3.1 de anexos). Como era de esperar, las dos velocidades de aire más bajas fueron las que registraron en promedio los valores de la apariencia de las hojas externas más altos después de los 120 minutos de tratamiento. El Cuadro 28



muestra que la apariencia de las hojas externas de la lechuga se deteriora más conforme aumenta la velocidad del aire.

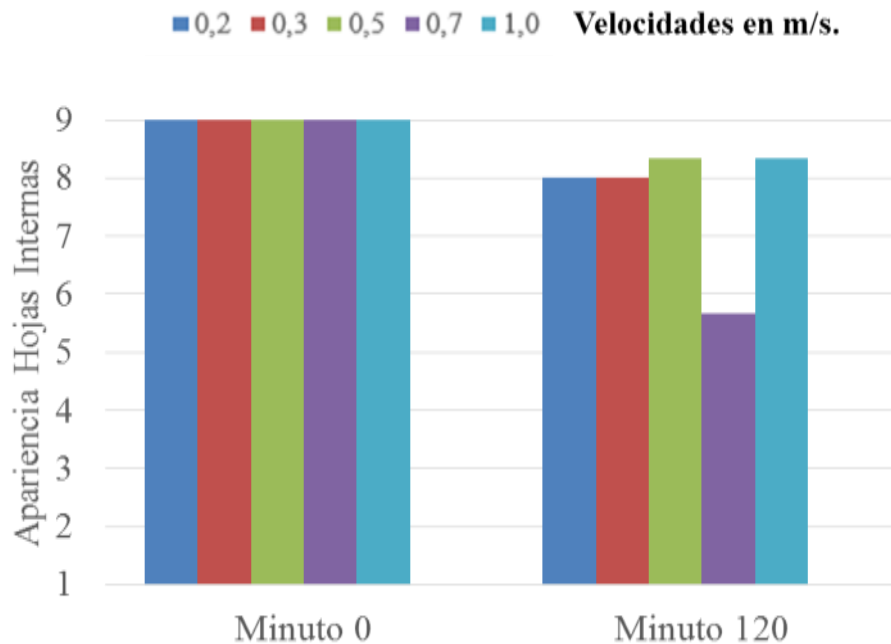
El análisis de varianza realizado para el parámetro de la apariencia de las hojas externas (Figura 31, Cuadro A.23 en anexos) revela que los tratamientos de velocidad de 0,70 m/s son los que presentan los valores más bajos entre todos los tratamientos. El único tratamiento que no presentó diferencias significativas respecto al valor de calidad inicial (9) fue el de la velocidad de 0,20 m/s; los restantes presentaron valores significativamente diferentes (menores a 7) respecto a ese mismo valor.



**Figura 31.** Efecto de distintas velocidades de aire sobre la apariencia de hojas externas de la lechuga durante dos horas.

**Apariencia de hojas internas:** La apariencia de hojas internas de lechuga se muestra en la Figura 32 y el Cuadro A.24 de anexos y se observa que al contrario a los parámetros anteriores, la velocidad del aire tuvo poco efecto sobre la apariencia de tales hojas que mantuvieron su apariencia en niveles superiores a 8. La excepción fue el tratamiento en que se utilizó una velocidad del aire de 0,70 m/s en el cual la apariencia de las hojas en el interior se redujo hasta menos de 6 puntos. Sin embargo

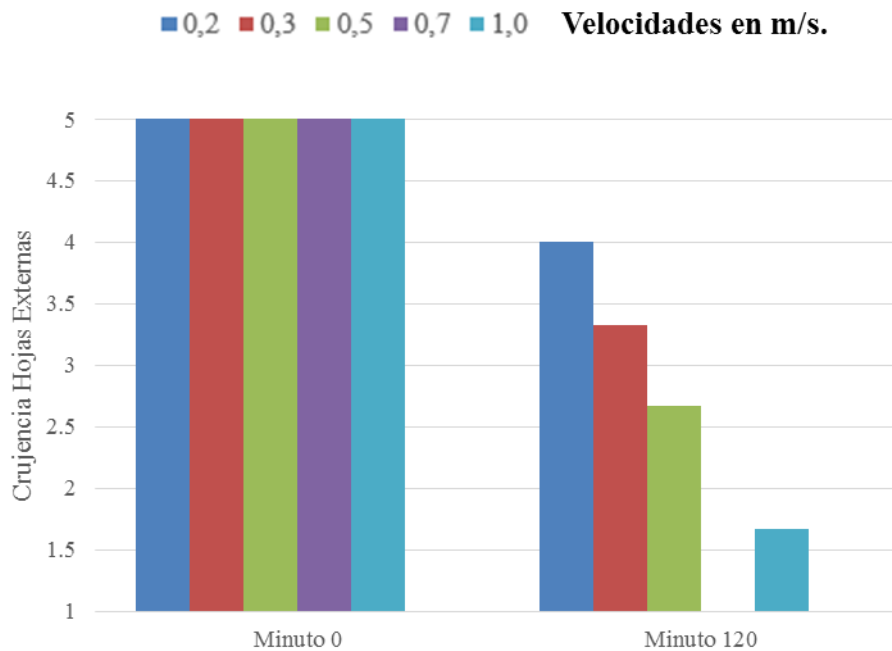
a una velocidad mayor (1,0 m/s) las pérdidas de crujencia de las hojas internas fueron también bajas (Figura A3.1 de anexos). Esto podría deberse a diferencias en la forma y colocación de las hojas de lechuga, pues algunas son más compactas que otras. Aunque el experimento se hizo por triplicado, esto pudo permitir que el aire pudiera circular con mayor facilidad dentro de las lechugas, entre las hojas, y esto pudo favorecer también el deterioro de las hojas en el interior del producto, después de dos horas de tratamiento, que fue significativamente mayor que para las otras velocidades.



**Figura 32.** Efecto de distintas velocidades de aire sobre la apariencia de hojas internas de la lechuga durante dos horas.

**Crujencia hojas internas y externas:** Estos resultados se complementan con los resultados de la crujencia en las hojas externas e internas (Figuras 33 y 34 y Cuadros A.25 y A.26 de anexos), la cual disminuyó conforme se aumentaba la velocidad del aire; en este caso se obtuvo un valor mínimo de 1 en la velocidad de 0,70 m/s; sin embargo la lechuga expuesta a la velocidad mínima de aire (0,20 m/s) fue el tratamiento que menos afectó la crujencia de hojas externas entre todos.

Para el ANOVA realizado al mismo parámetro de calidad (Figura 33 y Cuadro A.25 de anexos) se observa que todos los tratamientos presentaron diferencias significativamente menores al final de las dos horas de ensayo respecto al valor de calidad máximo (5) a excepción del tratamiento de velocidad de aire de 0,20 m/s, que en promedio presentó un valor de crujencia de hojas externas de 4. Además tal y como se ha observado para los tres parámetros anteriores, los tratamientos cuya velocidad de aire era mayor (0,70 y 1 m/s) fueron los que presentaron una afectación significativamente mayor respecto al valor inicial de crujencia.

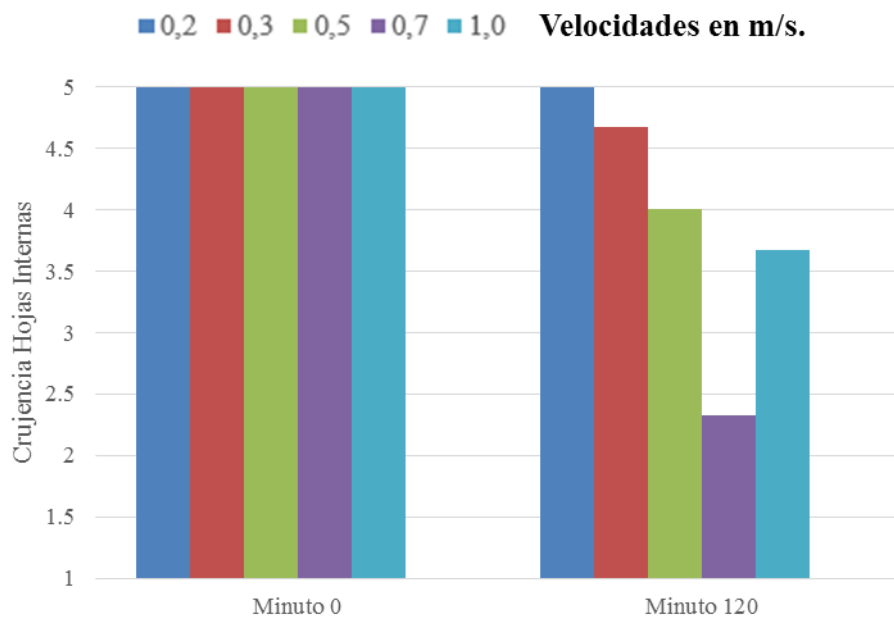


**Figura 33.** Efecto de distintas velocidades de aire sobre la crujencia de hojas externas de la lechuga durante dos horas.

A continuación se indagará sobre los resultados obtenidos para el parámetro de crujencia de hojas internas (Figura A3.1 de anexos) donde se observa que en promedio el tratamiento de velocidad de aire de 0,20 m/s, no hubo afectación en este parámetro luego de dos horas. Por otro lado, el tratamiento de velocidad 0,70 m/s fue el que tuvo mayor efecto en cuanto a la disminución de la crujencia de hojas internas, incluso mayor que las muestras del tratamiento de velocidad 1m/s pues se alcanzaron

en promedio valores de 3,66; los restantes tratamientos presentaron promedios de 4 y superiores lo cual indica que su calidad no tuvo una afectación importante.

Para el ANOVA realizado al mismo parámetro (Figura 35 y Cuadro A.26 de anexos) se puede ver que la crujencia de hojas internas presenta diferencias significativas en todos los tratamientos a excepción del tratamiento de velocidad de 0,2 m/s donde en promedio no hubo la mínima afectación pues se registró el mismo valor al final del ensayo que al inicio del mismo; este junto con el tratamiento de velocidad de 0,3 m/s fueron los que presentaron menos diferencias significativas respecto a los valores de calidad iniciales. Por otro lado, se vuelve a repetir el mismo comportamiento que se ha venido presentando en los demás parámetros, donde se registraron los valores significativamente más bajos de todos los tratamientos.

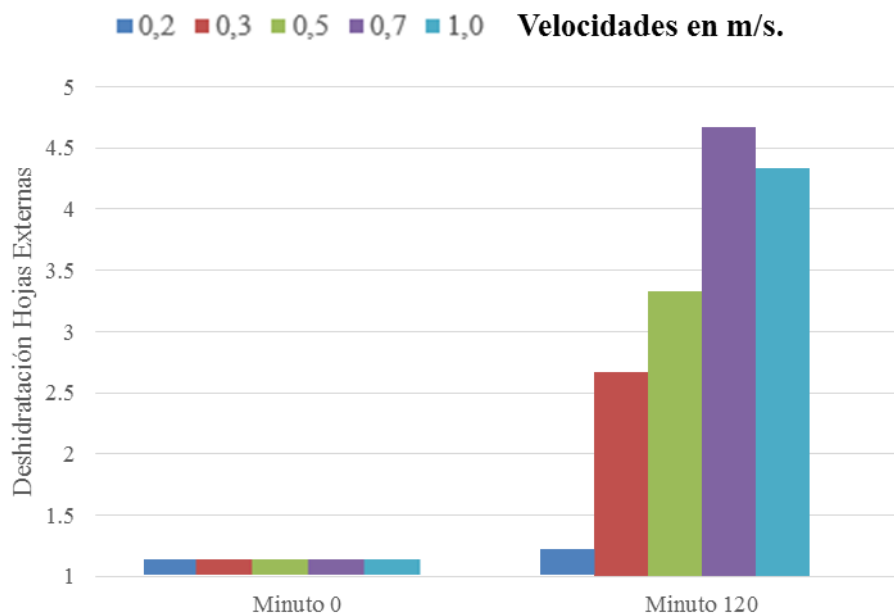


**Figura 34.** Efecto de distintas velocidades de aire sobre la crujencia de hojas internas de la lechuga durante dos horas.

**Deshidratación hojas externas:** Para el parámetro de deshidratación de hojas externas de la lechuga, que mide que tan avanzados se encuentran los síntomas de deshidratación se muestran en las Figura 35 y A3.1 de anexos. Se encontró en las

lechugas que los síntomas de deshidratación aumentan con la velocidad del aire, y que son evidentes para todas las velocidades, después de 120 minutos de tratamiento. Las lechugas del tratamiento de velocidad de 0,70 m/s fueron las muestras que mayor afectación presentaron con un promedio de 4,66 en la escala de calidad. Las lechugas del tratamiento testigo tampoco se vieron afectadas en consideración con respecto a este parámetro, pues presentaron el segundo mejor promedio de deshidratación.

Respecto al ANOVA realizado a la deshidratación de hojas externas (Figura 35 y Cuadro A.27 de anexos) se deduce que para los tratamientos testigo y de velocidad de 0,20 m/s no se registraron diferencias significativas luego del ensayo y para el resto de los tratamientos si se dieron diferencias significativas respecto al valor de calidad inicial; siendo el tratamiento de velocidad de 0,70 m/s el que registró el valor de mayor deshidratación en promedio.

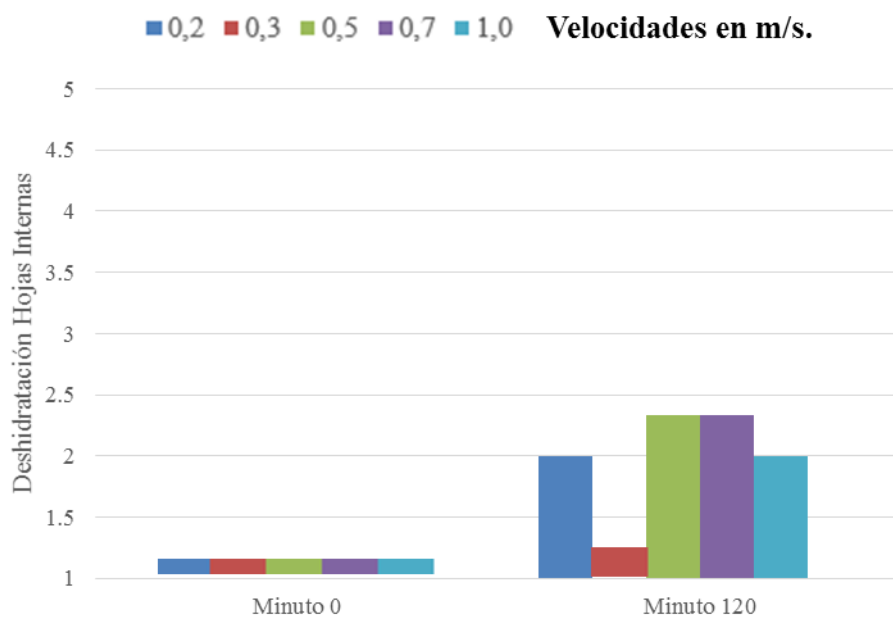


**Figura 35.** Efecto de distintas velocidades de aire sobre la deshidratación de hojas externas de la lechuga durante dos horas.

**Deshidratación hojas internas:** El siguiente parámetro evaluado corresponde a la deshidratación de hojas internas; en este caso las lechugas que tuvieron la menor

deshidratación en sus hojas internas fueron las del tratamiento de velocidad de las expuestas al tratamiento de velocidad de 0,30 m/s.

El ANOVA realizado a este parámetro (Figura 36 y Cuadro A.28 de anexos) muestra que existen diferencias significativas en la deshidratación para todos los tratamientos a excepción del tratamiento de velocidad de 0,30 m/s, para el que se registró un promedio de calidad final de 1; por otro lado el tratamiento testigo mostró una afectación significativamente sobre los demás tratamientos.

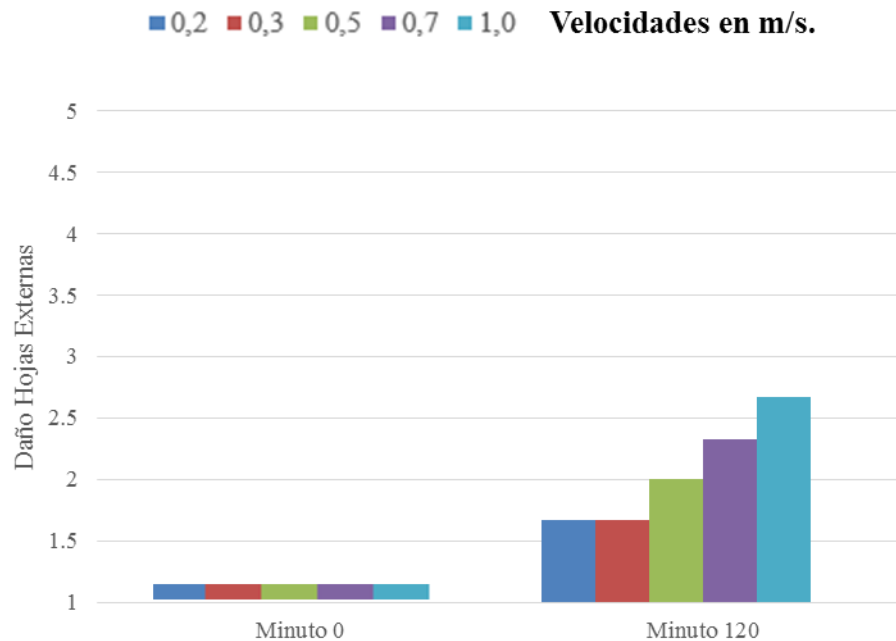


**Figura 36.** Efecto de distintas velocidades de aire sobre la deshidratación de hojas internas de la lechuga durante dos horas.

**Daño hojas externas:** En el parámetro de daño en hojas externas (Figura 37 y Cuadro A.29 de anexos) se observan diferencias significativas entre todas las velocidades a excepción de las dos velocidades más bajas, las cuales no presentan diferencias significativas entre sí.

**Daño hojas internas:** El daño en hojas internas de la lechuga que se observa en la Figura A3.2 de los anexos revela que únicamente para el tratamiento de velocidad de 0,50 m/s se registró una afectación de las muestras alcanzando en promedio un valor de 1,33 en la escala de calidad.

El análisis de varianza realizado a este mismo parámetro (Cuadro A.30 de anexos) muestra que no existen diferencias significativas independientemente de la velocidad a la que se exponga la lechuga durante el período de cada ensayo (120 minutos).



**Figura 37.** Efecto de distintas velocidades de aire sobre el daño en hojas externas de la lechuga durante dos horas.

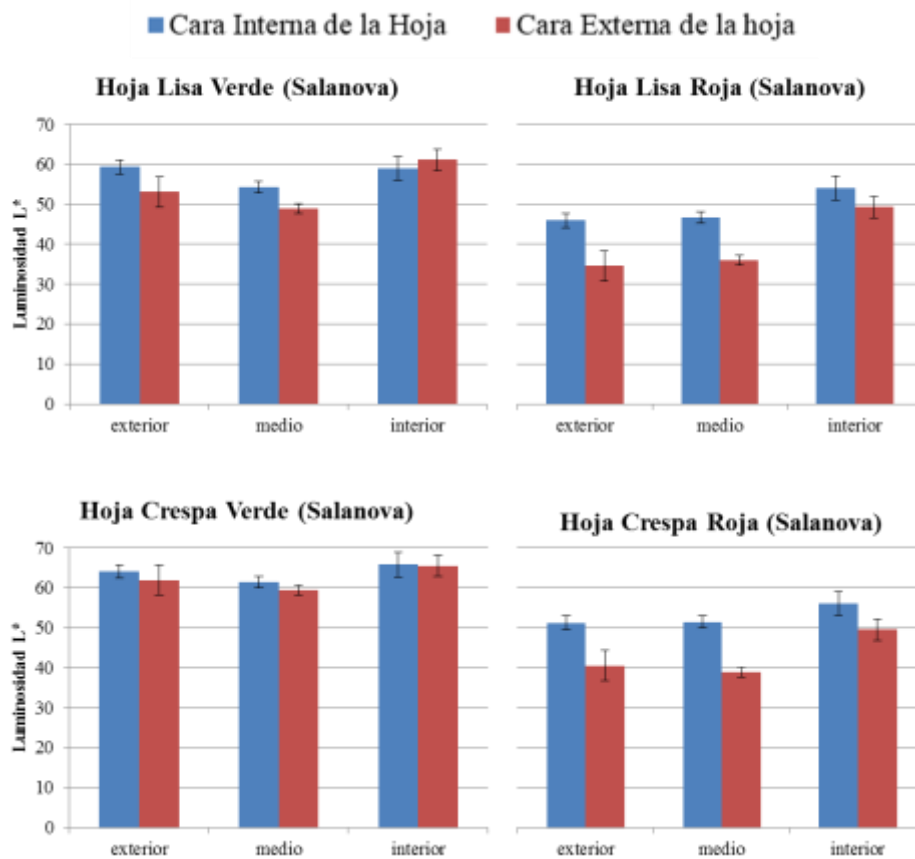
**Pudriciones:** Finalmente al igual que para el parámetro anterior, el ANOVA realizado para las pudriciones (Cuadro A.31 de anexos) no mostró diferencias significativas entre tratamientos independientemente de la velocidad de exposición de la lechuga.

Para los parámetros de daño en hojas internas y pudriciones la afectación registrada fue mínima (ver Cuadros A.30 y A.31 de anexos)

***Ensayo 4. Caracterización comparativa del área foliar y atributos de calidad de cinco tipos de lechuga comercializadas en el mercado nacional.***

**Color:** Los resultados muestran que los valores del parámetro L\*, siempre fueron mayores para la lechuga verde, sin coloraciones moradas, y tendió a ser mayor en el

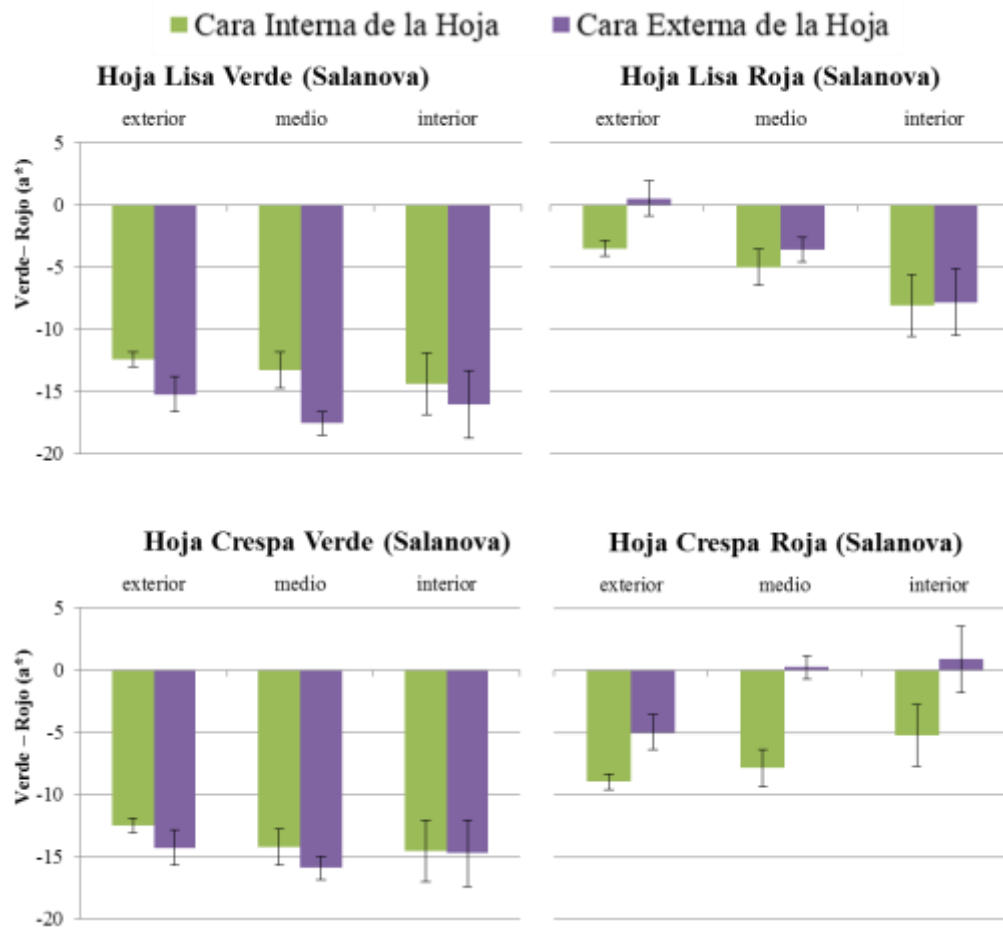
lado abaxial de la hoja. La luminosidad,  $L^*$ , de las hojas ubicadas en el centro y la parte interna de la lechuga, mostraron valores (Figura 38) ligeramente inferiores que los de las hojas en la parte externa del producto. Por otro lado, en general, la parte abaxial de las hojas tuvo una mayor luminosidad, que la cara adaxial, y las diferencias fueron más notables en las lechugas con coloraciones rojas. Las diferencias en la textura, concavidad y la forma de las hojas de lechuga, explica las diferencias en la luminosidad y estas diferencias podrían afectar la transferencia de masa del producto hacia el exterior, por lo que no necesariamente dicha transferencia ocurre de la misma forma a través de las caras abaxial y adaxial de las hojas de lechuga.



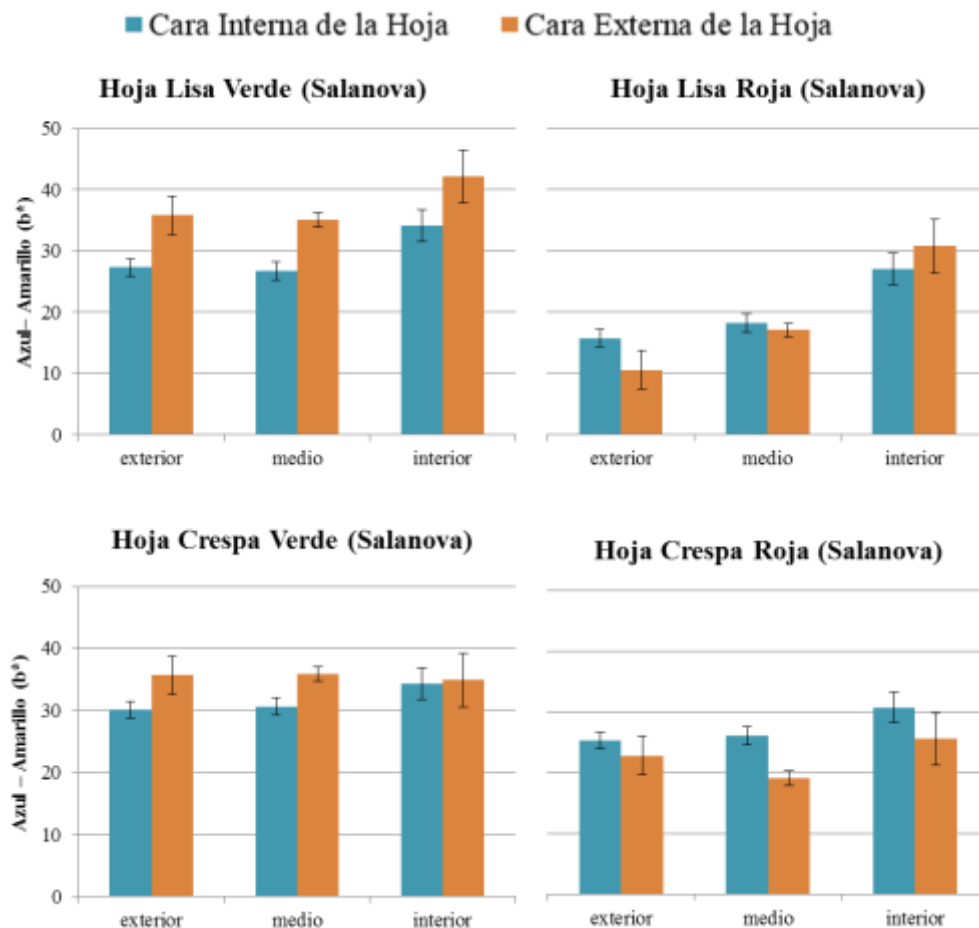
**Figura 38.** Luminosidad,  $L^*$ , en la cara interna (abaxial) y externa (adaxial) de las hojas de cuatro diferentes variedades de lechuga, ubicadas en la parte externa, media e interna del producto.



Los resultados del parámetro de color  $a^*$  (-a: verde; +a: rojo) se muestran en la Figura 39. Las lechugas verdes (lisa y crespada) mostraron valores de  $a^*$  del orden de 11 a 15 en contraste con valores inferiores a 10 para los tipos con coloración roja. En este caso, la parte abaxial de las hojas mostró valores de  $a^*$  menores que en la parte adaxial. Para las lechugas con tonos morados, los tonos verdes se registraron más en la parte abaxial de las hojas en comparación con la cara adaxial, lo cual se explica por el efecto de la coloración morada que disfraza u oculta la coloración verde de la clorofila de las hojas. En cuanto del parámetro de color  $b^*$  (-b: azul; +b: amarillo), las lechugas de hojas verdes, mostraron valores con mayor intensidad amarilla en su lado adaxial, que en el caso de las lechugas con tonalidades moradas, fueron mucho menores (Figura 40). Estas diferencias en los parámetros de color  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ , si bien, no necesariamente están directamente relacionadas con la pérdida de humedad de la lechuga, permiten comprobar que existen diferencias notables en la estructura o composición de ambos lados de las hojas, por lo que es de esperar que su permeabilidad al paso del agua pueda también estar diferenciada. Sastry & Buffington (1983) reportaron el efecto de la estructura de la superficie que actúa como barrera a la transferencia de masa para la pérdida de humedad de los productos frescos.



**Figura 39.** Comparación entre parámetros  $a^*$  en la cara interna (abaxial) y externa (adaxial) para cuatro diferentes variedades de lechuga.

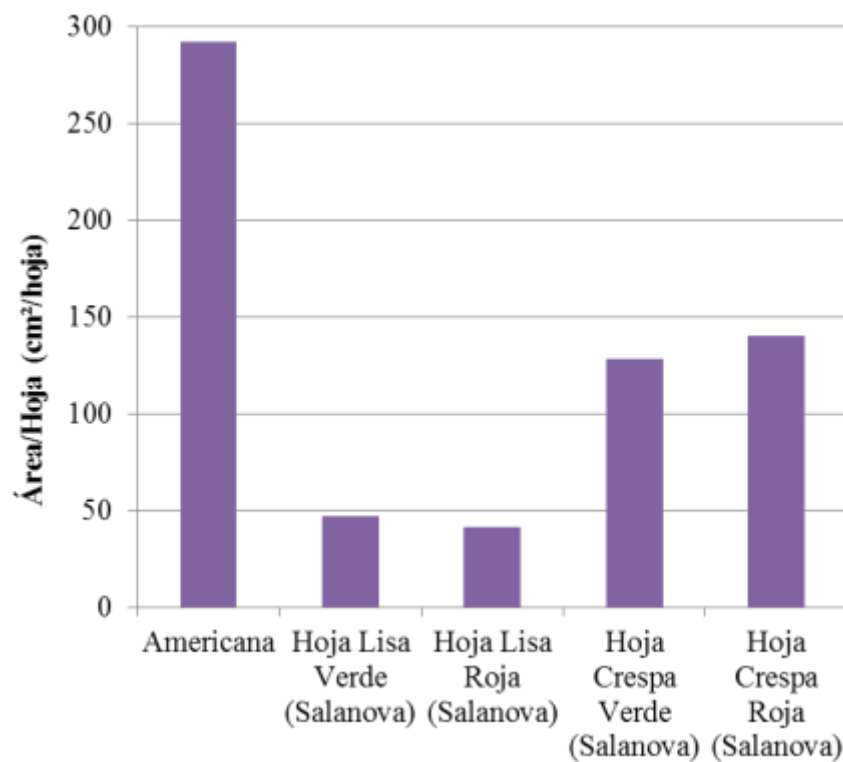


**Figura 40.** Comparación entre parámetros  $b^*$  en cara interna de la hoja (abaxial) y externa (adaxial) para cuatro diferentes variedades de lechuga.

**Área superficial:** La lechuga, tiene un área superficial grande con respecto a su peso, en comparación con productos como los cítricos y la mayor parte de las frutas. A través de esta superficie ocurre la transferencia de masa entre el producto y el ambiente, cuando hay un déficit de presiones de vapor entre ambos de agua, dióxido de carbono, oxígeno u otros compuestos. La dirección de la transferencia de masa, está dada por el gradiente de presiones de vapor, pero en general, para productos frescos como la lechuga, la transferencia ocurre del producto hacia el ambiente. El agua contenida en el producto, debe movilizarse dentro del producto hasta la superficie de las hojas y de allí se transfiere al ambiente. En cada hoja de lechuga, la distancia entre la parte central del espesor de las hojas a la superficie externa es corta

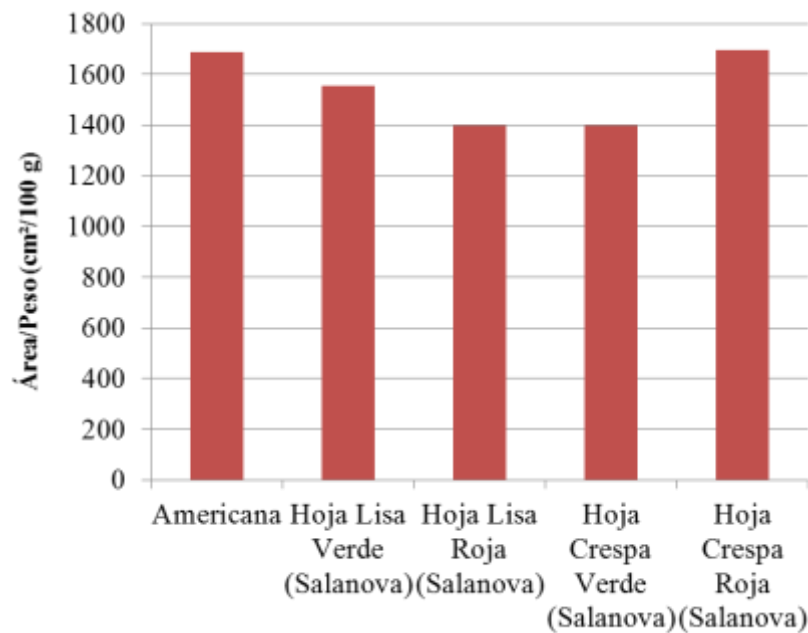
y además, al ser tan grande la superficie, los sitios donde ocurre esta transferencia son mayores.

La Figura 41 muestra el área promedio por hoja de lechuga para cinco tipos de lechuga de venta en el mercado nacional. Se encontraron diferencias significativas entre las lechugas, la lechuga tipo americano mostró una mayor relación de superficie por hoja (aproximadamente 290 cm<sup>2</sup>/hoja), en contraste con las tipo hoja lisa verde y roja (Salanova) con un área/hoja cercana a una sexta parte de la americana (50 cm<sup>2</sup>/hoja) y para la lechuga tipo hoja crespa verde (Salanova), entre 100 y 150 cm<sup>2</sup>/hoja. La forma de las hojas afecta este valor, pues en el caso de la lechuga americana, son hojas grandes y redondeadas, mientras que en el caso de los otros tipos de lechuga, las hojas eran pequeñas y redondeadas (hoja lisa verde y roja) y las tipo hoja crespa verde y roja, eran hojas con múltiples divisiones y puntas, haciendo que el área fuera mucho menor.



**Figura 41.** Relación área/hoja (cm<sup>2</sup>/hoja) promedio para cinco tipos de lechuga.

Por otro lado, el área por unidad de peso de lechuga, se muestra en la Figura 42. En este caso, los valores mostraron resultados similares, que oscilaron entre 1400 y 1700  $\text{cm}^2/100 \text{ g}$  de lechuga. El área de las lechugas varía con su peso (Cuadro 2), por lo que las lechugas tipo americana, que tuvieron un peso promedio cercano a 350 g, tenían un área superficial cercana a los 6000  $\text{cm}^2$ , en contraste con las lechugas tipo hoja crespas verde (Salanova), hoja crespas con coloración roja (Salanova), hoja lisa (Salanova) y hoja lisa con coloración roja (Salanova), cuyos tamaños oscilaron entre 150 y 200 gramos, con lo cual, su superficie correspondía a valores entre 2000 y 3300  $\text{cm}^2$ .



**Figura 42.** Relación área/peso ( $\text{cm}^2/100 \text{ g}$ ) para cinco tipos de lechuga.

Dada la gran área superficial de estos productos, por la que se puede perder la humedad, resulta importante protegerlos, para minimizar las pérdidas que puedan ocurrir durante el transporte y almacenamiento. De allí la importancia de los materiales de empaque y el control de las condiciones de almacenamiento de temperatura y humedad relativa, que puedan reducir los riesgos de deshidratación de estos productos. Sin embargo, cabe destacar, que aunque el área superficial de los

tres tipos de lechuga difiere, la transferencia de masa también se ve afectada por el acomodo de las hojas y cómo estas se exponen al ambiente. Algunos tipos de lechuga como la Salanova lisa tienen sus hojas muy abiertas, por lo que dejan una gran proporción expuesta al aire, en contraste con otras, que más bien son de tipo arrellanadas como la Salanova crespita y americana, con lo cual las capas externas son las que tienen una mayor exposición al ambiente, y entre las hojas internas, se forman espacios con microambientes de alta humedad relativa, y barreras que pueden ayudar a reducir la tasa de pérdida de humedad de la lechuga. En el Cuadro 8 se aprecian algunos atributos de calidad de la lechuga de cinco tipos. El contenido de humedad de las lechugas varió entre 93,7 y 95,7 %, mientras que la cantidad de hojas por lechuga varió entre 19 y 114, con áreas/hoja entre 41 y 292 cm<sup>2</sup>/hoja, para lechugas con pesos entre 150 y 350 g.

**Cuadro 8.** Atributos de calidad de cinco tipos de lechuga comercializadas en Costa Rica.

	<i>Área Total</i> (cm <sup>2</sup> )	<i>Peso Total</i> (g)	<i>Área/Hoja</i> (cm <sup>2</sup> /hoja)	<i>Área/Peso</i> (cm <sup>2</sup> /g)	<i>Número de hojas</i>	<i>Contenido de Humedad (%)</i>
<i>Americana</i>	5693,8±22,0	352,1±100,0	292,2±11,7	16,9±4,9	20,0±0,7	95,3
<i>Hoja Crespita Morada</i>	3291,2±102,1	195,1±14,4	140,2±8,6	16,9±1,8	24,0±0,7	93,7
<i>Hoja Crespita Verde</i>	2700±451,8	192,8±19,6	128,3±4,2	14,0±0,9	21,0±2,8	95,0
<i>Hoja Lisa Roja</i>	2063,5±226,8	148,4±10,1	41,6±8,1	14,0±2,5	50,0±5,7	94,8
<i>Hoja Lisa Verde</i>	2618,9±321,9	169,5±32,9	47,2±6,7	15,6±1,1	56,0±14,9	95,7

## 6. CONCLUSIONES

- El coeficiente de transpiración de la lechuga se mantuvo con poca variación para el producto envasado en bolsas cerradas y abiertas, pero fue muy elevado y se redujo rápidamente en los primeros tres días de almacenamiento cuando el producto se almacenó.
- El almacenamiento de la lechuga en bolsas de polipropileno cerradas a 5 °C, permitió minimizar las pérdidas de peso (5 % o menos) y los valores del coeficiente de transpiración de la lechuga, conservar su calidad durante más días de almacenamiento.
- La lechuga almacenada sin bolsa puede perder hasta un 20 % de su peso en los primeros 4-5 días de almacenamiento a 5, 10 o 15 °C.
- La bolsa abierta protege parcialmente a la lechuga de las pérdidas de peso, al cubrir la base de las hojas, pero dejar expuesta sus puntas al ambiente.
- El almacenamiento de las lechugas con o sin raíz no tuvo efecto sobre la pérdida de peso y el coeficiente de transpiración durante el almacenamiento a 5, 10 y 15 °C, con bolsa cerrada, abierta o sin bolsa, pero favoreció la incidencia de pudriciones
- El empaque de la lechuga en bolsas cerradas de polipropileno limita el intercambio de vapor de agua con el ambiente y provee una atmósfera de alta humedad que inhibe la pérdida de salida del agua de la lechuga hacia el espacio de cabeza.
- La pérdida de peso, el coeficiente de transpiración y los parámetros de calidad de las lechugas producidas utilizando el sistema hidropónico o tradicional (no hidropónico) no mostraron diferencias significativas independientemente de las condiciones de empaque, humedad relativa y temperatura de almacenamiento.
- El incremento de la velocidad del aire que pasa alrededor de la lechuga de 0,2 a 0,5 m/s provoca un aumento en la pérdida de peso y coeficiente de transpiración, y este se mantiene constante para velocidades mayores. La

aparición de la lechuga se deteriora más rápidamente al aumentar la velocidad del aire, después de dos horas de exposición.

- El color de las hojas, medidos en la escala CIELab, varían entre tipos de lechugas, la parte abaxial y adaxial de las hojas y la posición de las hojas dentro de la lechuga (exterior, medio e interior). Se encontraron mayores valores de  $L^*$  las lechugas Salanova verdes, con mayores valores de  $a^*$  y  $b^*$
- El área por unidad de peso de las lechugas fue similar para todas las lechugas estudiadas, pero hay grandes diferencias entre el número de hojas y área por hoja



## **7. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda el uso de empaques cerrados y 5 °C para controlar la pérdida de peso de la lechuga durante el almacenamiento
- El uso de bolsas abiertas solo se recomienda para situaciones de rápida comercialización de la lechuga, por la protección parcial que ofrecen a la lechuga contra la pérdida de peso.
- Se recomienda envasar el producto sin raíz dentro de empaques cerrados.
- Minimizar el tiempo en que las lechugas sin envasar se mantienen en contacto directo con el ambiente, desde la cosecha hasta el mercado final.
- Estudiar los cambios en compuestos nutricionales de la lechuga durante el almacenamiento según las condiciones de almacenamiento.
- Realizar un estudio de la dinámica de la pérdida de peso de otras hortalizas de hoja y frutas y otros vegetales de interés para el mercado nacional y cuantificar el valor de las pérdidas de peso durante el transporte y almacenamiento del producto.
- Estudiar el efecto de la hidratación por aspersion en los puntos de venta sobre la pérdida de humedad de las hortalizas frescas y los coeficientes de transpiración.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Agüero, M.V., Ponce A.G., Moreira M.R., Roura S.I.. (2011). Lettuce Quality Loss under Conditions That Favor the Wilting Phenomenon. *Postharvest Biology and Technology Magazine* 59(2): 124–31. doi:10.1016/j.postharvbio.2010.08.018
- An, D. S., Park E., Lee D. S. 2009. Effect of Hypobaric Packaging on Respiration and Quality of Strawberry and Curled Lettuce. *Postharvest Biology and Technology Magazine* 52(1): 78–83. doi:10.1016/j.postharvbio.2008.09.014
- Arias M., Chaves C., Monge C. (2011). Comparación de la calidad bacteriológica de la lechuga (*Lactuca sativa*) producida en Costa Rica mediante cultivo tradicional, orgánico o hidropónico. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 61(1): 69-73. Recuperado de: [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0004-06222011000100009](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222011000100009)
- Becker, B. R., Fricke, B. A. (1996). *Transpiration and respiration on vegetables fruits and vegetables*. In: *New developments in refrigeration for food safety and quality*. Paris: St. Joseph.
- Ben Yehoshua S., Rodov V. (2003). Transpiration and Water Stress, In Bartz, J., Brecht, J.K. (111-149.), *Postharvest Physiology and Pathology ofVegetables*. New York: Marcel Decker Inc.
- Cengel, Y. (2009). *Termodinámica*. México DF: McGraw Hill.
- Centro Nacional de Abastecimiento y Distribucion de Alimentos. *Boletín de volúmenes y precios. Precios de mayoristas a minoristas*, 2016. Heredia: CR. Recuperado de <http://pima.go.cr/AP/CM/PG1019L1/PIMA-PROGRAMA-INTEGRAL-DE-MERCADO-AGROPECUARIO.aspx>

- Cerdas M., Montero M. *Guías Técnicas del Manejo Poscosecha de Apio y Lechuga para el mercado fresco*, 2004. San José: Costa Rica.  
  
Imprenta Nacional. Recuperado de  
[http://www.mag.go.cr/biblioteca\\_virtual\\_ciencia/manual\\_apio\\_lechuga\\_creditos.pdf](http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/manual_apio_lechuga_creditos.pdf)
- Duck, A., Young, E., Sun, D. (2009). Effect of Hypobaric Packaging on Respiration and Quality of Strawberry and Curled Lettuce. *Postharvest Biology and Technology Magazine* 52(1): 78–83.  
doi:10.1016/j.postharvbio.2008.09.014.
- Hellickson M.A., Driggers, L.B., Muehling, A.J. (1983). *Ventilation of Agricultural Structures*. St. Joseph, MI: ASAE.
- Holcroft, D. (2015). Water Relations in Harvested Fresh Produce. *The Postharvest Education Foundation* 15(1): 1-16. Recuperado de  
<http://www.postharvest.org/Water%20relations%20PEF%20white%20paper%20FINAL%20MAY%202015.pdf>
- Kader, A. (2011). *Tecnología Poscosecha de Productos Hortofrutícolas*. California: University of California, Division of Agriculture and Natural Resources.
- Luna, M. C., Tudela, J. A., Martínez, A., Allende, A., Gil, M. I. (2013). Optimizing Water Management to Control Respiration Rate and Reduce Browning and Microbial Load of Fresh-Cut Romaine Lettuce. *Postharvest Biology and Technology Magazine* 80 (1): 9–17.  
doi:10.1016/j.postharvbio.2013.01.005
- Martínez, A., Tudela, J. A., Allende, A., Gil, M. (2011). Low Oxygen Levels and Light Exposure Affect Quality of Fresh-Cut Romaine Lettuce. *Postharvest Biology and Technology Magazine* 59(1): 34–42.  
doi:10.1016/j.postharvbio.2010.07.005

- Programa Integral de Mercadeo Agropecuario. 2012. *Tendencias de Consumo de Frutas, Hortalizas, Pescado y Mariscos en las familias de Costa Rica*. Heredia: CR.  
  
Recuperado de: <http://pima.go.cr/AP/CM/PG5038L1/PIMA-PROGRAMA-INTEGRAL-DE-MERCADO-AGROPECUARIO.aspx>
- Rahman, S. (2007). *Handbook of Food Preservation, Second Edition*. Florida: Taylor and Francis Group.
- Romero, R. (1987). *Transpiration from fruits and vegetables in storage*. (Tesis de Doctorado). University of Florida, Florida, USA.
- Sastry, S. K., Buffington D. E. (1983) Transpiration rates of stored perishable commodities: a mathematical model and experiments on tomatoes. *International Journal of Refrigeration* 6(2): 84-96. doi:10.1016/0140-7007(83)90050-6
- Tano K., Kamenan A., Arul J. (2005). Respiration and Transpiration Characteristics of Selected Fresh Fruits and Vegetables. *Agronomie Africane* 17(2): 103-115. Recuperado de <http://www.ajol.info/index.php/aga/article/view/1662/560>
- Xanthopoulos, G. T., Athanasiou A. A., Lentzou, D. I., Boudouvis, A. G., Lambrino, G. P. (2014). Modelling of Transpiration Rate of Grape Tomatoes. Semi-Empirical and Analytical Approach. *Biosystems Engineering Magazine* 124(1): 16–23. doi:10.1016/j.biosystemseng.2014.06.005
- Zhan, L., Li, Y., Hu, J., Pang, L., Fan, H. (2012). Browning Inhibition and Quality Preservation of Fresh-Cut Romaine Lettuce Exposed to High Intensity Light. *Innovative Food Science & Emerging Technologies Magazine* 14(1): (70–76). doi:10.1016/j.ifset.2012.02.004

## **9. ANEXOS**

La cantidad de líquido acumulado en los empaques fue mínima a lo largo del almacenamiento, lo cual se atribuyó a un buen escurrido antes del empaque y a la ausencia de un ambiente que provocara pérdidas considerables de humedad de las muestras en cortos períodos; esto a la vez implicó que las muestras no presentaran oscurecimiento en el corte de cosecha.

**Resultados de los Análisis de Varianza (ANOVA) del Ensayo 1.**

**Cuadro A. 1.** Efecto de la temperatura de almacenamiento y el corte de la raíz sobre la pérdida de peso acumulado de la lechuga.

<i>Pérdida de peso acumulada (%)</i>									
<i>Bolsa Cerrada</i>									
<i>Temperatura</i>	Día 0	Día 1	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 10
5 °C	0,00 <sup>C</sup>	0,24 <sup>A</sup>	0,17 <sup>A</sup>	0,04 <sup>A</sup>	0,23 <sup>B</sup>	0,43 <sup>B</sup>	0,29 <sup>B</sup>	0,30 <sup>B</sup>	0,13 <sup>B</sup>
10 °C	0,00 <sup>B</sup>	-0,07 <sup>A</sup>	0,04 <sup>A</sup>	0,03 <sup>A</sup>	0,02 <sup>A</sup>	0,03 <sup>A</sup>	-0,06 <sup>A</sup>	0,02 <sup>A</sup>	-0,07 <sup>AB</sup>
15 °C	0,00 <sup>A</sup>	0,07 <sup>A</sup>	0,04 <sup>A</sup>	0,03 <sup>A</sup>	0,01 <sup>A</sup>	-0,01 <sup>A</sup>	-0,02 <sup>A</sup>	-0,07 <sup>A</sup>	-0,16 <sup>A</sup>
<i>Raíz</i>									
Sin Raíz	0,00 <sup>B</sup>	-0,01 <sup>A</sup>	0,05 <sup>A</sup>	-0,08 <sup>A</sup>	0,04 <sup>A</sup>	0,11 <sup>A</sup>	0,06 <sup>A</sup>	0,03 <sup>A</sup>	-0,07 <sup>A</sup>
Con Raíz	0,00 <sup>A</sup>	0,16 <sup>A</sup>	0,11 <sup>A</sup>	0,15 <sup>A</sup>	0,14 <sup>A</sup>	0,19 <sup>A</sup>	0,08 <sup>A</sup>	0,13 <sup>A</sup>	0,01 <sup>A</sup>
<i>Bolsa Abierta</i>									
<i>Temperatura</i>	Día 0	Día 1	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 10
5 °C	0,00 <sup>C</sup>	-0,67 <sup>B</sup>	-1,88 <sup>B</sup>	-2,55 <sup>B</sup>	-2,99 <sup>B</sup>	-3,51 <sup>B</sup>	-3,97 <sup>B</sup>	-4,80 <sup>B</sup>	-5,82 <sup>B</sup>
10 °C	0,00 <sup>B</sup>	-0,95 <sup>B</sup>	-2,76 <sup>AB</sup>	-3,86 <sup>A</sup>	-4,52 <sup>A</sup>	-5,35 <sup>A</sup>	-6,13 <sup>A</sup>	-6,99 <sup>A</sup>	-7,86 <sup>A</sup>
15 °C	0,00 <sup>A</sup>	-1,49 <sup>A</sup>	-3,57 <sup>A</sup>	-4,14 <sup>A</sup>	-4,87 <sup>A</sup>	-5,68 <sup>A</sup>	-6,42 <sup>A</sup>	-7,53 <sup>A</sup>	-9,44 <sup>A</sup>
<i>Raíz</i>									
Sin Raíz	0,00 <sup>B</sup>	-1,91 <sup>B</sup>	-3,34 <sup>B</sup>	-4,08 <sup>B</sup>	-4,50 <sup>A</sup>	-5,10 <sup>A</sup>	-5,77 <sup>A</sup>	-6,40 <sup>A</sup>	-7,42 <sup>A</sup>
Con Raíz	0,00 <sup>A</sup>	-0,17 <sup>A</sup>	-2,13 <sup>A</sup>	-2,95 <sup>A</sup>	-3,75 <sup>A</sup>	-4,59 <sup>A</sup>	-5,25 <sup>A</sup>	-6,48 <sup>A</sup>	-7,99 <sup>A</sup>
<i>Sin Bolsa</i>									
<i>Temperatura</i>	Día 0	Día 1	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 10
5 °C	0,00 <sup>C</sup>	-6,21 <sup>A</sup>	-15,80 <sup>B</sup>	-18,20 <sup>B</sup>	-20,49 <sup>B</sup>	-22,86 <sup>B</sup>	-24,33 <sup>B</sup>	-26,20 <sup>A</sup>	-28,81 <sup>A</sup>
10 °C	0,00 <sup>B</sup>	-6,28 <sup>A</sup>	-13,73 <sup>AB</sup>	-15,85 <sup>AB</sup>	-18,07 <sup>B</sup>	-20,23 <sup>B</sup>	-21,99 <sup>AB</sup>	-23,99 <sup>A</sup>	-26,50 <sup>A</sup>
15 °C	0,00 <sup>A</sup>	-5,46 <sup>A</sup>	-12,73 <sup>A</sup>	-14,59 <sup>A</sup>	-17,02 <sup>A</sup>	-19,40 <sup>A</sup>	-21,28 <sup>A</sup>	-23,99 <sup>A</sup>	-27,43 <sup>A</sup>
<i>Raíz</i>									
Sin Raíz	0,00 <sup>B</sup>	-6,93 <sup>B</sup>	-14,96 <sup>A</sup>	-17,13 <sup>A</sup>	-19,35 <sup>A</sup>	-21,27 <sup>A</sup>	-23,07 <sup>A</sup>	-25,08 <sup>A</sup>	-27,79 <sup>A</sup>
Con Raíz	0,00 <sup>A</sup>	-5,03 <sup>A</sup>	-13,21 <sup>A</sup>	-15,30 <sup>A</sup>	-17,70 <sup>A</sup>	-20,39 <sup>A</sup>	-22,00 <sup>A</sup>	-24,38 <sup>A</sup>	-27,37 <sup>A</sup>

Letras iguales en la misma columna indican que no hay diferencias significativas entre tratamientos ( $p \geq 0,05$  Tukey).

**Cuadro A. 2.** Efecto de la temperatura de almacenamiento y el corte de la raíz sobre el coeficiente de transpiración de la lechuga.

*Coeficiente de Transpiración (mg·s<sup>-1</sup>·kg<sup>-1</sup>·MPa<sup>-1</sup>)*

<i>Bolsa Cerrada</i>								
<i>Temperatura</i>	Día 0	Día 1	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8
5 °C	727,47 <sup>A</sup>	94,11 <sup>A</sup>	161,51 <sup>A</sup>	246,24 <sup>A</sup>	630,04 <sup>B</sup>	513,75 <sup>A</sup>	373,63 <sup>A</sup>	232,53 <sup>B</sup>
10 °C	513,36 <sup>A</sup>	224,30 <sup>A</sup>	52,37 <sup>A</sup>	37,73 <sup>A</sup>	33,89 <sup>A</sup>	190,65 <sup>A</sup>	191,98 <sup>A</sup>	80,48 <sup>A</sup>
15 °C	260,72 <sup>A</sup>	25,96 <sup>A</sup>	78,23 <sup>A</sup>	78,90 <sup>A</sup>	57,54 <sup>A</sup>	171,26 <sup>A</sup>	163,40 <sup>A</sup>	62,62 <sup>A</sup>
<i>Raíz</i>								
Sin Raíz	535,45 <sup>A</sup>	59,82 <sup>A</sup>	130,61 <sup>A</sup>	144,33 <sup>A</sup>	265,62 <sup>A</sup>	259,14 <sup>A</sup>	211,48 <sup>A</sup>	142,54 <sup>A</sup>
Con Raíz	465,58 <sup>A</sup>	169,76 <sup>A</sup>	64,13 <sup>A</sup>	97,59 <sup>A</sup>	215,62 <sup>A</sup>	324,63 <sup>A</sup>	274,53 <sup>A</sup>	107,87 <sup>A</sup>
<i>Bolsa Abierta</i>								
<i>Temperatura</i>								
5 °C	567,23 <sup>A</sup>	653,36 <sup>A</sup>	560,74 <sup>A</sup>	392,66 <sup>A</sup>	454,04 <sup>A</sup>	415,45 <sup>A</sup>	768,55 <sup>A</sup>	501,69 <sup>A</sup>
10 °C	967,95 <sup>AB</sup>	894,23 <sup>A</sup>	1227,65 <sup>A</sup>	1123,08 <sup>B</sup>	845,56 <sup>B</sup>	785,59 <sup>A</sup>	875,30 <sup>A</sup>	442,73 <sup>A</sup>
15 °C	1456,82 <sup>B</sup>	956,35 <sup>A</sup>	519,38 <sup>A</sup>	668,29 <sup>AB</sup>	748,37 <sup>AB</sup>	683,08 <sup>A</sup>	1010,34 <sup>A</sup>	875,77 <sup>B</sup>
<i>Raíz</i>								
Sin Raíz	186,34 <sup>A</sup>	959,21 <sup>A</sup>	902,87 <sup>A</sup>	772,59 <sup>A</sup>	787,09 <sup>A</sup>	614,88 <sup>A</sup>	1179,17 <sup>B</sup>	728,04 <sup>B</sup>
Con Raíz	1808,33 <sup>B</sup>	710,09 <sup>A</sup>	635,65 <sup>A</sup>	683,43 <sup>A</sup>	578,22 <sup>A</sup>	641,20 <sup>A</sup>	590,29 <sup>A</sup>	485,42 <sup>A</sup>
<i>Sin Bolsa</i>								
<i>Temperatura</i>								
5 °C	3383,93 <sup>A</sup>	2614,03 <sup>A</sup>	1307,74 <sup>A</sup>	1247,83 <sup>A</sup>	1151,62 <sup>A</sup>	799,04 <sup>A</sup>	1037,17 <sup>A</sup>	710,20 <sup>A</sup>
10 °C	4327,25 <sup>A</sup>	2566,35 <sup>A</sup>	1461,69 <sup>A</sup>	1523,87 <sup>AB</sup>	1487,57 <sup>B</sup>	1216,05 <sup>B</sup>	1378,12 <sup>B</sup>	865,88 <sup>A</sup>
15 °C	3794,84 <sup>A</sup>	2529,28 <sup>A</sup>	1289,30 <sup>A</sup>	1694,98 <sup>B</sup>	1650,65 <sup>C</sup>	1310,23 <sup>B</sup>	1885,04 <sup>C</sup>	1193,25 <sup>B</sup>
<i>Raíz</i>								
Sin Raíz	3230,25 <sup>A</sup>	2623,88 <sup>A</sup>	1303,33 <sup>A</sup>	1528,02 <sup>A</sup>	1616,15 <sup>B</sup>	1038,11 <sup>A</sup>	1561,77 <sup>B</sup>	968,71 <sup>A</sup>
Con Raíz	4440,43 <sup>B</sup>	2515,90 <sup>A</sup>	1402,49 <sup>A</sup>	1449,77 <sup>A</sup>	1243,74 <sup>A</sup>	1178,77 <sup>B</sup>	1305,11 <sup>A</sup>	877,51 <sup>A</sup>

Letras iguales en la misma columna indican que no hay diferencias significativas entre tratamientos ( $p \geq 0,05$  Tukey).

**Cuadro A. 3.** Efecto de la temperatura de almacenamiento y el corte de la raíz sobre la apariencia fresca de la lechuga.

<i>Apariencia fresca</i>				
<i>Bolsa Cerrada</i>				
<i>Temperatura</i>	Día 0	Día 3	Día 5	Día 8
5 °C	9,00 <sup>A</sup>	8,82 <sup>B</sup>	8,10 <sup>B</sup>	7,92 <sup>B</sup>
10 °C	9,00 <sup>A</sup>	8,28 <sup>B</sup>	7,29 <sup>AB</sup>	7,29 <sup>AB</sup>
15 °C	9,00 <sup>A</sup>	7,07 <sup>A</sup>	6,39 <sup>A</sup>	6,39 <sup>A</sup>
<i>Raíz</i>				
Sin Raíz	9,00 <sup>A</sup>	7,59 <sup>A</sup>	6,84 <sup>A</sup>	6,84 <sup>A</sup>
Con Raíz	9,00 <sup>A</sup>	8,52 <sup>B</sup>	7,68 <sup>B</sup>	7,56 <sup>B</sup>
<i>Bolsa Abierta</i>				
<i>Temperatura</i>	Día 0	Día 3	Día 5	Día 8
5 °C	9,00 <sup>A</sup>	8,82 <sup>B</sup>	8,10 <sup>B</sup>	7,83 <sup>B</sup>
10 °C	9,00 <sup>A</sup>	9,00 <sup>B</sup>	7,83 <sup>B</sup>	7,83 <sup>B</sup>
15 °C	9,00 <sup>A</sup>	6,84 <sup>A</sup>	6,57 <sup>A</sup>	6,57 <sup>A</sup>
<i>Raíz</i>				
Sin Raíz	9,00 <sup>A</sup>	8,16 <sup>A</sup>	7,32 <sup>A</sup>	7,20 <sup>A</sup>
Con Raíz	9,00 <sup>A</sup>	8,28 <sup>A</sup>	7,68 <sup>A</sup>	7,62 <sup>A</sup>
<i>Sin Bolsa</i>				
<i>Temperatura</i>	Día 0	Día 3	Día 5	Día 8
5 °C	9,00 <sup>A</sup>	7,56 <sup>A</sup>	5,76 <sup>A</sup>	5,76 <sup>A</sup>
10 °C	9,00 <sup>A</sup>	7,20 <sup>A</sup>	6,03 <sup>A</sup>	6,03 <sup>A</sup>
15 °C	9,00 <sup>A</sup>	6,39 <sup>A</sup>	6,21 <sup>A</sup>	6,21 <sup>A</sup>
<i>Raíz</i>				
Sin Raíz	9,00 <sup>A</sup>	7,14 <sup>A</sup>	6,06 <sup>A</sup>	6,06 <sup>A</sup>
Con Raíz	9,00 <sup>A</sup>	6,96 <sup>A</sup>	5,94 <sup>A</sup>	5,94 <sup>A</sup>

Letras iguales en la misma columna indican que no hay diferencias significativas entre tratamientos ( $p \geq 0,05$  Tukey).



**Cuadro A. 4.** Efecto de la temperatura de almacenamiento y el corte de la raíz sobre la turgencia de la lechuga.

*Turgencia general (hojas y nervaduras)*

*Bolsa Cerrada*

Temperatura	Día 0	Día 3	Día 5	Día 8
5 °C	9,00 <sup>A</sup>	9,00 <sup>B</sup>	8,75 <sup>B</sup>	8,70 <sup>B</sup>
10 °C	9,00 <sup>A</sup>	8,40 <sup>A</sup>	8,25 <sup>AB</sup>	8,25 <sup>AB</sup>
15 °C	9,00 <sup>A</sup>	7,90 <sup>A</sup>	7,80 <sup>A</sup>	7,80 <sup>A</sup>
<i>Raíz</i>				
Sin Raíz	9,00 <sup>A</sup>	8,20 <sup>A</sup>	7,90 <sup>A</sup>	7,90 <sup>A</sup>
Con Raíz	9,00 <sup>A</sup>	8,67 <sup>B</sup>	8,63 <sup>B</sup>	8,60 <sup>B</sup>

*Bolsa Abierta*

*Temperatura*

5 °C	9,00 <sup>A</sup>	9,00 <sup>B</sup>	8,70 <sup>B</sup>	8,70 <sup>B</sup>
10 °C	9,00 <sup>A</sup>	9,00 <sup>B</sup>	8,50 <sup>B</sup>	8,45 <sup>B</sup>
15 °C	9,00 <sup>A</sup>	7,50 <sup>A</sup>	7,40 <sup>A</sup>	7,30 <sup>A</sup>

*Raíz*

Sin Raíz	9,00 <sup>A</sup>	8,40 <sup>A</sup>	7,80 <sup>A</sup>	7,73 <sup>A</sup>
Con Raíz	9,00 <sup>A</sup>	8,60 <sup>A</sup>	8,60 <sup>B</sup>	8,57 <sup>B</sup>

*Sin Bolsa*

*Temperatura*

5 °C	9,00 <sup>A</sup>	8,20 <sup>B</sup>	6,90 <sup>B</sup>	5,76 <sup>B</sup>
10 °C	9,00 <sup>A</sup>	8,00 <sup>B</sup>	6,85 <sup>B</sup>	5,71 <sup>B</sup>
15 °C	9,00 <sup>A</sup>	7,00 <sup>A</sup>	4,60 <sup>A</sup>	4,77 <sup>A</sup>

*Raíz*

Sin Raíz	9,00 <sup>A</sup>	7,73 <sup>A</sup>	7,07 <sup>B</sup>	7,17 <sup>B</sup>
Con Raíz	9,00 <sup>A</sup>	7,73 <sup>A</sup>	5,17 <sup>A</sup>	3,66 <sup>A</sup>

Letras iguales en la misma columna indican que no hay diferencias significativas entre tratamientos ( $p \geq 0,05$  Tukey).

**Cuadro A. 5.** Efecto de la temperatura de almacenamiento y el corte de la raíz sobre el puntilleo de nervaduras de la lechuga.

*Puntilleo de nervaduras*

*Bolsa Cerrada*

<i>Temperatura</i>	Día 0	Día 3	Día 5	Día 8
5 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,20 <sup>A</sup>	1,20 <sup>A</sup>
10 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,55 <sup>A</sup>	1,55 <sup>AB</sup>
15 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,95 <sup>B</sup>	1,85 <sup>B</sup>

*Raíz*

Sin Raíz	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,47 <sup>A</sup>	1,47 <sup>A</sup>
Con Raíz	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,67 <sup>A</sup>	1,6 <sup>A</sup>

*Bolsa Abierta*

*Temperatura*

5 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,30 <sup>A</sup>	1,45 <sup>A</sup>
10 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	2,00 <sup>B</sup>	2,00 <sup>B</sup>
15 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,70 <sup>AB</sup>	1,85 <sup>AB</sup>

*Raíz*

Sin Raíz	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,37 <sup>A</sup>	1,43 <sup>A</sup>
Con Raíz	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,97 <sup>B</sup>	2,10 <sup>B</sup>

*Sin Bolsa*

*Temperatura*

5 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,90 <sup>A</sup>	1,90 <sup>A</sup>
10 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,55 <sup>A</sup>	1,65 <sup>A</sup>
15 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,35 <sup>A</sup>	1,51 <sup>A</sup>

*Raíz*

Sin Raíz	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,30 <sup>A</sup>	1,37 <sup>A</sup>
Con Raíz	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,90 <sup>B</sup>	2,01 <sup>B</sup>

Letras iguales en la misma columna indican que no hay diferencias significativas entre tratamientos ( $p \geq 0,05$  Tukey).

**Cuadro A. 6.** Efecto de la temperatura de almacenamiento y el corte de la raíz sobre el daño en borde de hoja de la lechuga.

<i>Daño borde de hojas</i>				
<i>Bolsa Cerrada</i>				
<i>Temperatura</i>	Día 0	Día 3	Día 5	Día 8
5 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,40 <sup>A</sup>	1,65 <sup>A</sup>
10 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,95 <sup>AB</sup>	1,95 <sup>A</sup>
15 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	2,05 <sup>B</sup>	2,65 <sup>B</sup>
<i>Raíz</i>				
Sin Raíz	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,93 <sup>A</sup>	2,17 <sup>A</sup>
Con Raíz	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,67 <sup>A</sup>	2,00 <sup>A</sup>
<i>Bolsa Abierta</i>				
<i>Temperatura</i>	Día 0	Día 3	Día 5	Día 8
5 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,25 <sup>A</sup>	1,40 <sup>A</sup>
10 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	2,00 <sup>B</sup>	2,05 <sup>B</sup>
15 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,10 <sup>A</sup>	1,80 <sup>B</sup>	1,80 <sup>B</sup>
<i>Raíz</i>				
Sin Raíz	1,00 <sup>A</sup>	1,07 <sup>A</sup>	1,80 <sup>A</sup>	1,90 <sup>A</sup>
Con Raíz	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,57 <sup>B</sup>	1,60 <sup>B</sup>
<i>Sin Bolsa</i>				
<i>Temperatura</i>	Día 0	Día 3	Día 5	Día 8
5 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,80 <sup>A</sup>	1,80 <sup>A</sup>
10 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,70 <sup>A</sup>	1,70 <sup>A</sup>
15 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,40 <sup>A</sup>	1,65 <sup>A</sup>	2,35 <sup>A</sup>
<i>Raíz</i>				
Sin Raíz	1,00 <sup>A</sup>	1,27 <sup>A</sup>	1,53 <sup>A</sup>	1,53 <sup>A</sup>
Con Raíz	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,90 <sup>B</sup>	2,37 <sup>B</sup>

Letras iguales en la misma columna indican que no hay diferencias significativas entre tratamientos ( $p \geq 0,05$  Tukey).

**Cuadro A. 7.** Efecto de la temperatura de almacenamiento y el corte de la raíz sobre la crujencia de nervaduras de la lechuga.

*Crujencia nervaduras*

*Bolsa Cerrada*

<i>Temperatura</i>	Día 0	Día 3	Día 5	Día 8
5 °C	9,00 <sup>A</sup>	9,00 <sup>B</sup>	8,55 <sup>B</sup>	8,46 <sup>B</sup>
10 °C	9,00 <sup>A</sup>	8,28 <sup>B</sup>	7,92 <sup>B</sup>	7,77 <sup>B</sup>
15 °C	9,00 <sup>A</sup>	7,02 <sup>A</sup>	6,21 <sup>A</sup>	6,21 <sup>A</sup>

*Raíz*

Sin Raíz	9,00 <sup>A</sup>	7,68 <sup>A</sup>	7,14 <sup>A</sup>	7,08 <sup>A</sup>
Con Raíz	9,00 <sup>A</sup>	8,52 <sup>B</sup>	7,98 <sup>B</sup>	7,88 <sup>B</sup>

*Bolsa Abierta*

*Temperatura*

5 °C	9,00 <sup>A</sup>	8,64 <sup>B</sup>	8,55 <sup>B</sup>	8,55 <sup>B</sup>
10 °C	9,00 <sup>A</sup>	9,00 <sup>B</sup>	7,92 <sup>B</sup>	7,92 <sup>B</sup>
15 °C	9,00 <sup>A</sup>	5,94 <sup>A</sup>	5,85 <sup>A</sup>	6,03 <sup>A</sup>

*Raíz*

Sin Raíz	9,00 <sup>A</sup>	7,44 <sup>A</sup>	7,02 <sup>A</sup>	7,14 <sup>A</sup>
Con Raíz	9,00 <sup>A</sup>	8,28 <sup>B</sup>	7,86 <sup>B</sup>	7,86 <sup>B</sup>

*Sin Bolsa*

*Temperatura*

5 °C	9,00 <sup>A</sup>	7,74 <sup>B</sup>	6,21 <sup>A</sup>	5,85 <sup>A</sup>
10 °C	9,00 <sup>A</sup>	7,38 <sup>B</sup>	6,21 <sup>A</sup>	6,21 <sup>A</sup>
15 °C	9,00 <sup>A</sup>	5,58 <sup>A</sup>	6,03 <sup>A</sup>	6,03 <sup>A</sup>

*Raíz*

Sin Raíz	9,00 <sup>A</sup>	6,84 <sup>A</sup>	6,24 <sup>A</sup>	6,00 <sup>A</sup>
Con Raíz	9,00 <sup>A</sup>	6,96 <sup>A</sup>	6,06 <sup>A</sup>	6,06 <sup>A</sup>

Letras iguales en la misma columna indican que no hay diferencias significativas entre tratamientos ( $p \geq 0,05$  Tukey).

**Cuadro A. 8.** Efecto de la temperatura de almacenamiento y el corte de la raíz sobre la crujencia de hojas de la lechuga.

<i>Crujencia de hojas</i>				
<i>Bolsa Cerrada</i>				
<i>Temperatura</i>	Día 0	Día 3	Día 5	Día 8
5 °C	9,00 <sup>A</sup>	9,00 <sup>B</sup>	8,19 <sup>B</sup>	8,19 <sup>C</sup>
10 °C	9,00 <sup>A</sup>	8,28 <sup>B</sup>	7,74 <sup>B</sup>	7,50 <sup>B</sup>
15 °C	9,00 <sup>A</sup>	6,84 <sup>A</sup>	6,21 <sup>A</sup>	6,21 <sup>A</sup>
<i>Raíz</i>				
Sin Raíz	9,00 <sup>A</sup>	7,56 <sup>A</sup>	6,90 <sup>A</sup>	6,84 <sup>A</sup>
Con Raíz	9,00 <sup>A</sup>	8,52 <sup>B</sup>	7,86 <sup>B</sup>	7,76 <sup>B</sup>
<i>Bolsa Abierta</i>				
<i>Temperatura</i>	Día 0	Día 3	Día 5	Día 8
5 °C	9,00 <sup>A</sup>	9,00 <sup>B</sup>	8,19 <sup>B</sup>	8,01 <sup>B</sup>
10 °C	9,00 <sup>A</sup>	9,00 <sup>B</sup>	7,83 <sup>B</sup>	7,83 <sup>B</sup>
15 °C	9,00 <sup>A</sup>	5,94 <sup>A</sup>	6,12 <sup>A</sup>	6,12 <sup>A</sup>
<i>Raíz</i>				
Sin Raíz	9,00 <sup>A</sup>	7,68 <sup>A</sup>	6,78 <sup>A</sup>	6,78 <sup>A</sup>
Con Raíz	9,00 <sup>A</sup>	8,28 <sup>A</sup>	7,98 <sup>B</sup>	7,86 <sup>B</sup>
<i>Sin Bolsa</i>				
<i>Temperatura</i>	Día 0	Día 3	Día 5	Día 8
5 °C	9,00 <sup>A</sup>	7,74 <sup>B</sup>	5,85 <sup>A</sup>	5,85 <sup>A</sup>
10 °C	9,00 <sup>A</sup>	7,20 <sup>B</sup>	5,58 <sup>A</sup>	5,58 <sup>A</sup>
15 °C	9,00 <sup>A</sup>	5,58 <sup>A</sup>	5,49 <sup>A</sup>	5,49 <sup>A</sup>
<i>Raíz</i>				
Sin Raíz	9,00 <sup>A</sup>	6,72 <sup>A</sup>	5,58 <sup>A</sup>	5,58 <sup>A</sup>
Con Raíz	9,00 <sup>A</sup>	6,96 <sup>A</sup>	5,70 <sup>A</sup>	5,70 <sup>A</sup>

Letras iguales en la misma columna indican que no hay diferencias significativas entre tratamientos ( $p \geq 0,05$  Tukey).

**Cuadro A. 9.** Efecto de la temperatura de almacenamiento y el corte de la raíz sobre las pudriciones de la lechuga.

<i>Pudriciones</i>				
<i>Bolsa Cerrada</i>				
<i>Temperatura</i>	Día 0	Día 3	Día 5	Día 8
5 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>
10 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>
15 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,40 <sup>B</sup>	2,42 <sup>B</sup>
<i>Raíz</i>				
Sin Raíz	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,68 <sup>A</sup>
Con Raíz	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,27 <sup>B</sup>	1,27 <sup>A</sup>
<i>Bolsa Abierta</i>				
<i>Temperatura</i>	Día 0	Día 3	Día 5	Día 8
5 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>
10 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>
15 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,50 <sup>B</sup>	1,50 <sup>B</sup>
<i>Raíz</i>				
Sin Raíz	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,03 <sup>A</sup>	1,03 <sup>A</sup>
Con Raíz	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,30 <sup>B</sup>	1,30 <sup>B</sup>
<i>Sin Bolsa</i>				
<i>Temperatura</i>	Día 0	Día 3	Día 5	Día 8
5 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>
10 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,62 <sup>A</sup>
15 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,30 <sup>A</sup>	1,20 <sup>A</sup>

Letras iguales en la misma columna indican que no hay diferencias significativas entre tratamientos ( $p \geq 0,05$  Tukey).

**Resultados de los Análisis de Varianza (ANOVA) del Ensayo 2.**

**Cuadro A. 10.** Efecto de la temperatura de almacenamiento y el sistema de producción sobre la pérdida de peso acumulado de la lechuga.

*Pérdida de peso acumulada (%)*

**Bolsa Cerrada**

<i>Sistema de producción</i>	Día 0	Día 1	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8
Hidropónico	0,00 <sup>A</sup>	0,08 <sup>A</sup>	0,07 <sup>A</sup>	0,05 <sup>A</sup>	0,02 <sup>A</sup>	-0,10 <sup>A</sup>	-0,29 <sup>A</sup>
No Hidropónico	0,00 <sup>A</sup>	0,15 <sup>B</sup>	0,09 <sup>A</sup>	0,07 <sup>A</sup>	0,02 <sup>A</sup>	0,02 <sup>B</sup>	0,00 <sup>B</sup>
<i>Temperatura</i>							
5 °C	0,00 <sup>A</sup>	0,16 <sup>B</sup>	0,12 <sup>B</sup>	0,10 <sup>B</sup>	0,06 <sup>B</sup>	0,02 <sup>B</sup>	-0,02 <sup>A</sup>
10 °C	0,00 <sup>A</sup>	0,11 <sup>AB</sup>	0,07 <sup>AB</sup>	0,06 <sup>AB</sup>	0,03 <sup>AB</sup>	-0,03 <sup>B</sup>	-0,22 <sup>A</sup>
15 °C	0,00 <sup>A</sup>	0,07 <sup>A</sup>	0,05 <sup>A</sup>	0,00 <sup>A</sup>	-0,03 <sup>A</sup>	-0,11 <sup>A</sup>	-0,19 <sup>A</sup>

**Bolsa Abierta**

<i>Sistema de producción</i>	Día 0	Día 1	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8
Hidropónico	0,00 <sup>A</sup>	-1,05 <sup>A</sup>	-1,63 <sup>A</sup>	-2,35 <sup>A</sup>	-2,72 <sup>A</sup>	-3,28 <sup>A</sup>	-3,70 <sup>A</sup>
No Hidropónico	0,00 <sup>A</sup>	-0,91 <sup>A</sup>	-2,16 <sup>A</sup>	-2,43 <sup>A</sup>	-2,97 <sup>A</sup>	-3,49 <sup>A</sup>	-3,99 <sup>A</sup>
<i>Temperatura</i>							
5 °C	0,00 <sup>A</sup>	-1,10 <sup>A</sup>	-1,70 <sup>A</sup>	-1,95 <sup>A</sup>	-2,21 <sup>B</sup>	-2,43 <sup>B</sup>	-2,64 <sup>B</sup>
10 °C	0,00 <sup>A</sup>	-0,75 <sup>A</sup>	-1,45 <sup>A</sup>	-1,85 <sup>A</sup>	-2,17 <sup>B</sup>	-2,62 <sup>B</sup>	-2,78 <sup>B</sup>
15 °C	0,00 <sup>A</sup>	-1,09 <sup>A</sup>	-2,53 <sup>A</sup>	-3,36 <sup>A</sup>	-4,16 <sup>A</sup>	-5,10 <sup>A</sup>	-6,13 <sup>A</sup>

**Sin Bolsa**

<i>Sistema de producción</i>	Día 0	Día 1	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8
Hidropónico	0,00 <sup>A</sup>	-7,55 <sup>A</sup>	-14,66 <sup>B</sup>	-17,49 <sup>B</sup>	-20,09 <sup>B</sup>	-22,76 <sup>B</sup>	-25,38 <sup>B</sup>
No Hidropónico	0,00 <sup>A</sup>	-7,65 <sup>A</sup>	-18,99 <sup>A</sup>	-22,05 <sup>A</sup>	-24,57 <sup>A</sup>	-26,84 <sup>A</sup>	-29,14 <sup>A</sup>
<i>Temperatura</i>							
5 °C	0,00 <sup>A</sup>	-5,53 <sup>B</sup>	-13,72 <sup>B</sup>	-16,78 <sup>B</sup>	-19,05 <sup>B</sup>	-21,14 <sup>B</sup>	-22,91 <sup>B</sup>
10 °C	0,00 <sup>A</sup>	-6,54 <sup>AB</sup>	-14,45 <sup>B</sup>	-17,58 <sup>B</sup>	-19,83 <sup>B</sup>	-22,64 <sup>B</sup>	-25,22 <sup>B</sup>
15 °C	0,00 <sup>A</sup>	-10,71 <sup>A</sup>	-21,31 <sup>A</sup>	-24,95 <sup>A</sup>	-28,11 <sup>A</sup>	-30,63 <sup>A</sup>	-33,66 <sup>A</sup>

Letras iguales en la misma columna indican que no hay diferencias significativas entre tratamientos ( $p \geq 0,05$  Tukey).

**Cuadro A. 11.** Efecto de la temperatura de almacenamiento y el sistema de producción sobre el coeficiente de transpiración de la lechuga.

<i>Coefficiente de Transpiración (mg·s<sup>-1</sup>·kg<sup>-1</sup>·MPa<sup>-1</sup>)</i>						
<i>Bolsa Cerrada</i>						
<i>Temperatura</i>	Día 0	Día 1	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
5 °C	463,64 <sup>B</sup>	226,90 <sup>B</sup>	76,19 <sup>A</sup>	182,85 <sup>B</sup>	249,50 <sup>B</sup>	335,99 <sup>A</sup>
10 °C	215,64 <sup>A</sup>	73,67 <sup>A</sup>	23,27 <sup>A</sup>	51,82 <sup>A</sup>	139,46 <sup>A</sup>	393,22 <sup>A</sup>
15 °C	103,66 <sup>A</sup>	46,11 <sup>A</sup>	57,54 <sup>A</sup>	46,15 <sup>A</sup>	116,46 <sup>A</sup>	129,94 <sup>A</sup>
<i>Sistema de Producción</i>						
Hidropónico	188,43 <sup>A</sup>	77,80 <sup>A</sup>	73,67 <sup>B</sup>	77,97 <sup>A</sup>	243,31 <sup>B</sup>	370,22 <sup>A</sup>
No Hidropónico	333,53 <sup>B</sup>	153,31 <sup>B</sup>	31,00 <sup>A</sup>	109,23 <sup>A</sup>	93,63 <sup>A</sup>	202,56 <sup>A</sup>
<i>Bolsa Abierta</i>						
<i>Temperatura</i>	Día 0	Día 1	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
5 °C	1003,83 <sup>A</sup>	557,11 <sup>A</sup>	380,23 <sup>A</sup>	233,77 <sup>A</sup>	223,43 <sup>A</sup>	187,72 <sup>A</sup>
10 °C	796,96 <sup>A</sup>	711,89 <sup>A</sup>	407,71 <sup>A</sup>	316,35 <sup>A</sup>	465,59 <sup>AB</sup>	190,16 <sup>A</sup>
15 °C	1001,13 <sup>A</sup>	1321,00 <sup>A</sup>	763,04 <sup>A</sup>	728,25 <sup>B</sup>	870,14 <sup>B</sup>	823,73 <sup>B</sup>
<i>Sistema de Producción</i>						
Hidropónico	998,26 <sup>A</sup>	542,79 <sup>A</sup>	672,59 <sup>A</sup>	347,40 <sup>A</sup>	535,53 <sup>A</sup>	402,68 <sup>A</sup>
No Hidropónico	869,69 <sup>A</sup>	1183,88 <sup>B</sup>	361,40 <sup>A</sup>	504,85 <sup>A</sup>	503,91 <sup>A</sup>	398,39 <sup>A</sup>
<i>Sin Bolsa</i>						
<i>Temperatura</i>	Día 0	Día 1	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
5 °C	3016,19 <sup>A</sup>	3371,10 <sup>A</sup>	2760,15 <sup>A</sup>	1235,67 <sup>A</sup>	1141,57 <sup>A</sup>	964,06 <sup>A</sup>
10 °C	4508,65 <sup>AB</sup>	4759,52 <sup>AB</sup>	2842,99 <sup>A</sup>	1551,16 <sup>A</sup>	1936,55 <sup>B</sup>	1773,00 <sup>A</sup>
15 °C	7449,19 <sup>B</sup>	5975,14 <sup>B</sup>	3924,31 <sup>A</sup>	2194,43 <sup>B</sup>	1751,93 <sup>AB</sup>	2109,20 <sup>B</sup>
<i>Sistema de Producción</i>						
Hidropónico	4963,96 <sup>A</sup>	2009,64 <sup>A</sup>	2414,53 <sup>B</sup>	1662,93 <sup>A</sup>	1735,53 <sup>A</sup>	1709,24 <sup>A</sup>
No Hidropónico	5018,73 <sup>A</sup>	3394,20 <sup>B</sup>	1937,10 <sup>A</sup>	1657,91 <sup>A</sup>	1484,50 <sup>A</sup>	1521,60 <sup>A</sup>

Letras iguales en la misma columna indican que no hay diferencias significativas entre tratamientos ( $p \geq 0,05$  Tukey).



**Cuadro A. 12.** Efecto de la temperatura de almacenamiento y el sistema de producción sobre la apariencia fresca de la lechuga.

<i>Apariencia fresca</i>				
<i>Bolsa Cerrada</i>				
<i>Temperatura</i>	Día 0	Día 2	Día 4	Día 7
5 °C	9,00 <sup>A</sup>	9,00 <sup>A</sup>	8,70 <sup>B</sup>	8,50 <sup>C</sup>
10 °C	9,00 <sup>A</sup>	8,80 <sup>A</sup>	8,40 <sup>B</sup>	7,50 <sup>B</sup>
15 °C	9,00 <sup>A</sup>	9,00 <sup>A</sup>	7,70 <sup>A</sup>	5,30 <sup>A</sup>
<i>Sistema de producción</i>				
Hidropónico	9,00 <sup>A</sup>	8,87 <sup>A</sup>	8,60 <sup>B</sup>	6,93 <sup>A</sup>
No Hidropónico	9,00 <sup>A</sup>	9,00 <sup>A</sup>	7,93 <sup>A</sup>	7,27 <sup>A</sup>
<i>Bolsa Abierta</i>				
<i>Temperatura</i>	Día 0	Día 2	Día 4	Día 7
5 °C	9,00 <sup>A</sup>	9,00 <sup>A</sup>	8,30 <sup>A</sup>	8,20 <sup>B</sup>
10 °C	9,00 <sup>A</sup>	8,80 <sup>A</sup>	7,90 <sup>A</sup>	7,50 <sup>B</sup>
15 °C	9,00 <sup>A</sup>	8,70 <sup>A</sup>	7,50 <sup>A</sup>	5,50 <sup>A</sup>
<i>Sistema de producción</i>				
Hidropónico	9,00 <sup>A</sup>	8,67 <sup>A</sup>	7,80 <sup>A</sup>	6,87 <sup>A</sup>
No Hidropónico	9,00 <sup>A</sup>	9,00 <sup>B</sup>	8,00 <sup>A</sup>	7,27 <sup>A</sup>
<i>Sin Bolsa</i>				
<i>Temperatura</i>	Día 0	Día 2	Día 4	Día 7
5 °C	9,00 <sup>A</sup>	8,70 <sup>A</sup>	7,10 <sup>B</sup>	6,10 <sup>C</sup>
10 °C	9,00 <sup>A</sup>	8,80 <sup>A</sup>	6,10 <sup>A</sup>	4,40 <sup>A</sup>
15 °C	9,00 <sup>A</sup>	8,60 <sup>A</sup>	6,10 <sup>A</sup>	5,20 <sup>B</sup>
<i>Sistema de producción</i>				
Hidropónico	9,00 <sup>A</sup>	8,40 <sup>A</sup>	7,40 <sup>B</sup>	5,40 <sup>B</sup>
No Hidropónico	9,00 <sup>A</sup>	9,00 <sup>B</sup>	5,47 <sup>A</sup>	5,07 <sup>A</sup>

Letras iguales en la misma columna indican que no hay diferencias significativas entre tratamientos ( $p \geq 0,05$  Tukey).

**Cuadro A. 13.** Efecto de la temperatura de almacenamiento y el sistema de producción sobre la turgencia de la lechuga.

*Turgencia general (hojas y nervaduras)*

**Bolsa Cerrada**

<i>Temperatura</i>	Día 0	Día 2	Día 4	Día 7
5 °C	9,00 <sup>A</sup>	9,00 <sup>A</sup>	9,00 <sup>B</sup>	8,80 <sup>B</sup>
10 °C	9,00 <sup>A</sup>	8,80 <sup>A</sup>	8,50 <sup>A</sup>	8,10 <sup>B</sup>
15 °C	9,00 <sup>A</sup>	9,00 <sup>A</sup>	8,10 <sup>A</sup>	6,70 <sup>A</sup>

*Sistema de producción*

Hidropónico	9,00 <sup>A</sup>	8,87 <sup>A</sup>	8,67 <sup>A</sup>	7,93 <sup>A</sup>
No Hidropónico	9,00 <sup>A</sup>	9,00 <sup>A</sup>	8,40 <sup>A</sup>	7,80 <sup>A</sup>

**Bolsa Abierta**

<i>Temperatura</i>	Día 0	Día 2	Día 4	Día 7
5 °C	9,00 <sup>A</sup>	8,80 <sup>A</sup>	8,80 <sup>C</sup>	8,30 <sup>B</sup>
10 °C	9,00 <sup>A</sup>	8,80 <sup>A</sup>	8,20 <sup>B</sup>	8,00 <sup>B</sup>
15 °C	9,00 <sup>A</sup>	8,80 <sup>A</sup>	7,20 <sup>A</sup>	5,70 <sup>A</sup>

*Sistema de producción*

Hidropónico	9,00 <sup>A</sup>	8,60 <sup>A</sup>	8,13 <sup>A</sup>	7,33 <sup>A</sup>
No Hidropónico	9,00 <sup>A</sup>	9,00 <sup>B</sup>	8,00 <sup>A</sup>	7,33 <sup>A</sup>

**Sin Bolsa**

<i>Temperatura</i>	Día 0	Día 2	Día 4	Día 7
5 °C	9,00 <sup>A</sup>	8,40 <sup>A</sup>	6,30 <sup>A</sup>	5,70 <sup>A</sup>
10 °C	9,00 <sup>A</sup>	8,40 <sup>A</sup>	6,70 <sup>A</sup>	5,60 <sup>A</sup>
15 °C	9,00 <sup>A</sup>	8,50 <sup>A</sup>	6,50 <sup>A</sup>	5,30 <sup>A</sup>

*Sistema de producción*

Hidropónico	9,00 <sup>A</sup>	7,87 <sup>A</sup>	7,27 <sup>B</sup>	5,13 <sup>A</sup>
No Hidropónico	9,00 <sup>A</sup>	9,00 <sup>B</sup>	5,73 <sup>A</sup>	5,93 <sup>A</sup>

Letras iguales en la misma columna indican que no hay diferencias significativas entre tratamientos ( $p \geq 0,05$  Tukey).

**Cuadro A. 14.** Efecto de la temperatura de almacenamiento y el sistema de producción sobre el puntilleo de nervaduras de la lechuga.

<i>Puntilleo de nervaduras</i>				
<i>Bolsa Cerrada</i>				
<i>Temperatura</i>	Día 0	Día 2	Día 4	Día 7
5 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>
10 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,30 <sup>A</sup>	1,40 <sup>AB</sup>
15 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,30 <sup>A</sup>	1,80 <sup>B</sup>
<i>Sistema de producción</i>				
Hidropónico	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,07 <sup>A</sup>	1,33 <sup>A</sup>
No Hidropónico	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,33 <sup>A</sup>	1,47 <sup>A</sup>
<i>Bolsa Abierta</i>				
<i>Temperatura</i>	Día 0	Día 2	Día 4	Día 7
5 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>
10 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,10 <sup>A</sup>	1,20 <sup>A</sup>
15 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,40 <sup>A</sup>	1,90 <sup>B</sup>
<i>Sistema de producción</i>				
Hidropónico	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,33 <sup>B</sup>	1,60 <sup>B</sup>
No Hidropónico	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,13 <sup>A</sup>
<i>Sin Bolsa</i>				
<i>Temperatura</i>	Día 0	Día 2	Día 4	Día 7
5 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,10 <sup>A</sup>
10 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>
15 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,20 <sup>A</sup>	1,30 <sup>A</sup>
<i>Sistema de producción</i>				
Hidropónico	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,13 <sup>A</sup>	1,27 <sup>B</sup>
No Hidropónico	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>

Letras iguales en la misma columna indican que no hay diferencias significativas entre tratamientos ( $p \geq 0,05$  Tukey).

**Cuadro A. 15.** Efecto de la temperatura de almacenamiento y el sistema de producción sobre el daño en borde de hoja de la lechuga.

<i>Daño en borde de hoja</i>				
<i>Bolsa Cerrada</i>				
<i>Temperatura</i>	Día 0	Día 2	Día 4	Día 7
5 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,20 <sup>A</sup>
10 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,60 <sup>B</sup>	1,90 <sup>B</sup>
15 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,40 <sup>AB</sup>	2,60 <sup>C</sup>
<i>Sistema de producción</i>				
Hidropónico	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,13 <sup>A</sup>	1,73 <sup>A</sup>
No Hidropónico	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,53 <sup>B</sup>	2,07 <sup>A</sup>
<i>Bolsa Abierta</i>				
<i>Temperatura</i>	Día 0	Día 2	Día 4	Día 7
5 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,10 <sup>A</sup>	1,20 <sup>A</sup>	1,90 <sup>A</sup>
10 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,20 <sup>A</sup>	1,40 <sup>A</sup>	1,40 <sup>A</sup>
15 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,20 <sup>A</sup>	2,00 <sup>A</sup>	3,40 <sup>B</sup>
<i>Sistema de producción</i>				
Hidropónico	1,00 <sup>A</sup>	1,33 <sup>B</sup>	1,87 <sup>B</sup>	2,33 <sup>A</sup>
No Hidropónico	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,20 <sup>A</sup>	2,13 <sup>A</sup>
<i>Sin Bolsa</i>				
<i>Temperatura</i>	Día 0	Día 2	Día 4	Día 7
5 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,20 <sup>A</sup>	1,40 <sup>A</sup>	2,10 <sup>A</sup>
10 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,50 <sup>A</sup>	2,30 <sup>B</sup>	2,40 <sup>A</sup>
15 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,50 <sup>A</sup>	2,10 <sup>B</sup>	2,70 <sup>A</sup>
<i>Sistema de producción</i>				
Hidropónico	1,00 <sup>A</sup>	1,80 <sup>B</sup>	1,87 <sup>A</sup>	2,47 <sup>A</sup>
No Hidropónico	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	2,00 <sup>A</sup>	2,33 <sup>A</sup>

Letras iguales en la misma columna indican que no hay diferencias significativas entre tratamientos ( $p \geq 0,05$  Tukey).

**Cuadro A. 16.** Efecto de la temperatura de almacenamiento y el sistema de producción sobre la crujencia de nervaduras de la lechuga.

<i>Crujencia de nervaduras</i>				
<i>Bolsa Cerrada</i>				
<i>Temperatura</i>	Día 0	Día 2	Día 4	Día 7
5 °C	9,00 <sup>A</sup>	9,00 <sup>A</sup>	8,60 <sup>A</sup>	8,60 <sup>C</sup>
10 °C	9,00 <sup>A</sup>	9,00 <sup>A</sup>	8,20 <sup>A</sup>	8,00 <sup>B</sup>
15 °C	9,00 <sup>A</sup>	9,00 <sup>A</sup>	8,20 <sup>A</sup>	6,80 <sup>A</sup>
<i>Sistema de producción</i>				
Hidropónico	9,00 <sup>A</sup>	9,00 <sup>A</sup>	8,60 <sup>B</sup>	7,93 <sup>A</sup>
No Hidropónico	9,00 <sup>A</sup>	9,00 <sup>A</sup>	8,07 <sup>A</sup>	7,67 <sup>A</sup>
<i>Bolsa Abierta</i>				
<i>Temperatura</i>	Día 0	Día 2	Día 4	Día 7
5 °C	9,00 <sup>A</sup>	8,90 <sup>A</sup>	8,30 <sup>B</sup>	8,00 <sup>B</sup>
10 °C	9,00 <sup>A</sup>	8,90 <sup>A</sup>	8,20 <sup>B</sup>	7,90 <sup>B</sup>
15 °C	9,00 <sup>A</sup>	9,00 <sup>A</sup>	7,50 <sup>A</sup>	6,10 <sup>A</sup>
<i>Sistema de producción</i>				
Hidropónico	9,00 <sup>A</sup>	8,87 <sup>A</sup>	8,40 <sup>B</sup>	7,53 <sup>A</sup>
No Hidropónico	9,00 <sup>A</sup>	9,00 <sup>A</sup>	7,60 <sup>A</sup>	7,13 <sup>A</sup>
<i>Sin Bolsa</i>				
<i>Temperatura</i>	Día 0	Día 2	Día 4	Día 7
5 °C	9,00 <sup>A</sup>	8,80 <sup>A</sup>	7,00 <sup>A</sup>	6,50 <sup>B</sup>
10 °C	9,00 <sup>A</sup>	8,90 <sup>A</sup>	6,60 <sup>A</sup>	4,40 <sup>A</sup>
15 °C	9,00 <sup>A</sup>	9,00 <sup>A</sup>	6,40 <sup>A</sup>	5,70 <sup>B</sup>
<i>Sistema de producción</i>				
Hidropónico	9,00 <sup>A</sup>	8,80 <sup>A</sup>	7,60 <sup>B</sup>	5,80 <sup>A</sup>
No Hidropónico	9,00 <sup>A</sup>	9,00 <sup>A</sup>	5,73 <sup>A</sup>	5,27 <sup>A</sup>

Letras iguales en la misma columna indican que no hay diferencias significativas entre tratamientos ( $p \geq 0,05$  Tukey).

**Cuadro A. 17.** Efecto de la temperatura de almacenamiento y el sistema de producción sobre la crujencia de hojas de la lechuga.

<i>Crujencia de hojas</i>				
<i>Bolsa Cerrada</i>				
<i>Temperatura</i>	Día 0	Día 2	Día 4	Día 7
5 °C	9,00 <sup>A</sup>	9,00 <sup>A</sup>	8,60 <sup>B</sup>	8,10 <sup>B</sup>
10 °C	9,00 <sup>A</sup>	8,80 <sup>A</sup>	8,00 <sup>A</sup>	7,90 <sup>B</sup>
15 °C	9,00 <sup>A</sup>	9,00 <sup>A</sup>	7,60 <sup>A</sup>	6,10 <sup>A</sup>
<i>Sistema de producción</i>				
Hidropónico	9,00 <sup>A</sup>	8,87 <sup>A</sup>	8,33 <sup>B</sup>	7,40 <sup>A</sup>
No Hidropónico	9,00 <sup>A</sup>	9,00 <sup>A</sup>	7,80 <sup>A</sup>	7,33 <sup>A</sup>
<i>Bolsa Abierta</i>				
<i>Temperatura</i>	Día 0	Día 2	Día 4	Día 7
5 °C	9,00 <sup>A</sup>	8,60 <sup>A</sup>	8,80 <sup>B</sup>	8,70 <sup>C</sup>
10 °C	9,00 <sup>A</sup>	8,80 <sup>A</sup>	7,70 <sup>A</sup>	7,40 <sup>B</sup>
15 °C	9,00 <sup>A</sup>	8,80 <sup>A</sup>	7,10 <sup>A</sup>	5,70 <sup>A</sup>
<i>Sistema de producción</i>				
Hidropónico	9,00 <sup>A</sup>	8,47 <sup>A</sup>	8,00 <sup>A</sup>	7,20 <sup>A</sup>
No Hidropónico	9,00 <sup>A</sup>	9,00 <sup>B</sup>	7,73 <sup>A</sup>	7,33 <sup>A</sup>
<i>Sin Bolsa</i>				
<i>Temperatura</i>	Día 0	Día 2	Día 4	Día 7
5 °C	9,00 <sup>A</sup>	8,50 <sup>A</sup>	6,40 <sup>B</sup>	5,80 <sup>B</sup>
10 °C	9,00 <sup>A</sup>	8,40 <sup>A</sup>	5,80 <sup>AB</sup>	3,40 <sup>A</sup>
15 °C	9,00 <sup>A</sup>	8,70 <sup>A</sup>	5,40 <sup>A</sup>	4,90 <sup>B</sup>
<i>Sistema de producción</i>				
Hidropónico	9,00 <sup>A</sup>	8,07 <sup>A</sup>	6,80 <sup>B</sup>	4,87 <sup>A</sup>
No Hidropónico	9,00 <sup>A</sup>	9,00 <sup>B</sup>	4,93 <sup>A</sup>	4,53 <sup>A</sup>

Letras iguales en la misma columna indican que no hay diferencias significativas entre tratamientos ( $p \geq 0,05$  Tukey).

**Cuadro A. 18.** Efecto de la temperatura de almacenamiento y sistema de producción sobre las pudriciones de la lechuga.

<i><b>Pudriciones</b></i>				
<i><b>Bolsa Cerrada</b></i>				
<i>Temperatura</i>	Día 0	Día 2	Día 4	Día 7
5 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>
10 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,30 <sup>A</sup>
15 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	2,20 <sup>B</sup>
<i>Sistema de producción</i>				
Hidropónico	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,73 <sup>B</sup>
No Hidropónico	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,27 <sup>A</sup>
<i><b>Bolsa Abierta</b></i>				
<i>Temperatura</i>	Día 0	Día 2	Día 4	Día 7
5 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>
10 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,30 <sup>A</sup>
15 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,20 <sup>A</sup>	2,70 <sup>B</sup>
<i>Sistema de producción</i>				
Hidropónico	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,13 <sup>A</sup>	1,47 <sup>A</sup>
No Hidropónico	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,87 <sup>B</sup>
<i><b>Sin Bolsa</b></i>				
<i>Temperatura</i>	Día 0	Día 2	Día 4	Día 7
5 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>
10 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>
15 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,50 <sup>B</sup>	1,90 <sup>B</sup>
<i>Sistema de producción</i>				
Hidropónico	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,20 <sup>A</sup>
No Hidropónico	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,33 <sup>B</sup>	1,40 <sup>A</sup>

Letras iguales en la misma columna indican que no hay diferencias significativas entre tratamientos ( $p \geq 0,05$  Tukey).

**Cuadro A. 19.** Efecto de la temperatura de almacenamiento y sistema de producción sobre el líquido acumulado de la lechuga.

**Líquido Acumulado**

**Bolsa Cerrada**

<i>Temperatura</i>	Día 0	Día 2	Día 4	Día 7
5 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,40 <sup>A</sup>
10 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,40 <sup>B</sup>	2,60 <sup>B</sup>
15 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,90 <sup>AB</sup>

*Sistema de producción*

Hidropónico	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,87 <sup>A</sup>
No Hidropónico	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,27 <sup>B</sup>	2,07 <sup>A</sup>

**Bolsa Abierta**

<i>Temperatura</i>	Día 0	Día 2	Día 4	Día 7
5 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>
10 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,10 <sup>A</sup>	1,30 <sup>A</sup>
15 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	2,20 <sup>B</sup>

*Sistema de producción*

Hidropónico	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,40 <sup>A</sup>
No Hidropónico	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,07 <sup>A</sup>	1,60 <sup>A</sup>

**Sin Bolsa**

<i>Temperatura</i>	Día 0	Día 2	Día 4	Día 7
5 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>
10 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>
15 °C	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>

*Sistema de producción*

Hidropónico	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>
No Hidropónico	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>

Letras iguales en la misma columna indican que no hay diferencias significativas entre tratamientos ( $p \geq 0,05$  Tukey).



**Resultados de los Análisis de Varianza (ANOVA) del Ensayo 3.**

**Cuadro A. 20.** Efecto de la velocidad del aire sobre la pérdida de peso acumulado de la lechuga.

*Pérdida de Peso (%)*

*Tiempo (min)*

<i>Velocidad (m/s)</i>	<i>0</i>	<i>15</i>	<i>30</i>	<i>45</i>	<i>60</i>	<i>75</i>	<i>90</i>	<i>105</i>	<i>120</i>
0,20	0,00 <sup>A</sup>	-0,48 <sup>A</sup>	-1,29 <sup>A</sup>	-1,57 <sup>B</sup>	-1,53 <sup>C</sup>	-1,95 <sup>C</sup>	-2,08 <sup>C</sup>	-2,44 <sup>D</sup>	-2,90 <sup>D</sup>
0,30	0,00 <sup>A</sup>	-0,91 <sup>A</sup>	-1,83 <sup>A</sup>	-2,65 <sup>AB</sup>	-3,55 <sup>BC</sup>	-4,46 <sup>BC</sup>	-4,90 <sup>BC</sup>	-5,54 <sup>C</sup>	-6,08 <sup>C</sup>
0,50	0,00 <sup>A</sup>	-0,84 <sup>A</sup>	-1,77 <sup>A</sup>	-3,41 <sup>AB</sup>	-5,02 <sup>ABC</sup>	-6,65 <sup>AB</sup>	-7,61 <sup>AB</sup>	-8,74 <sup>B</sup>	-9,08 <sup>B</sup>
0,70	0,00 <sup>A</sup>	-1,90 <sup>A</sup>	-4,26 <sup>A</sup>	-5,73 <sup>A</sup>	-7,60 <sup>A</sup>	-8,90 <sup>A</sup>	-10,25 <sup>A</sup>	-11,38 <sup>A</sup>	-12,37 <sup>A</sup>
1,00	0,00 <sup>A</sup>	-2,29 <sup>A</sup>	-3,69 <sup>A</sup>	-5,20 <sup>A</sup>	-6,75 <sup>AB</sup>	-8,07 <sup>A</sup>	-9,20 <sup>A</sup>	-10,43 <sup>AB</sup>	-11,76 <sup>A</sup>

Letras iguales en la misma columna indican que no hay diferencias significativas entre tratamientos ( $p \geq 0.05$ . Tukey).

**Cuadro A. 21.** Efecto de la velocidad del aire sobre el coeficiente de transpiración de la lechuga.

<i>Velocidad</i>	<i>m</i>	<i>ΔP</i>		
<i>(m/s)</i>	<i>(Pendiente)</i>	<i>R<sup>2</sup></i>	<i>(MPa)</i>	<i>k (mg kg<sup>-1</sup>s<sup>-1</sup>MPa<sup>-1</sup>)</i>
0,20	-0,03	0,91	0,00119	3501,40
0,30	-0,05	0,98	0,00123	7317,10
0,50	-0,08	0,98	0,00094	14361,70
0,70	-0,11	0,97	0,00128	14583,30
1,00	-0,10	0,98	0,00123	13956,60

m. R<sup>2</sup>: Pendiente y coeficiente de determinación de curvas de PP acumulado respecto al tiempo respectivamente (Figura 27).

**Cuadro A. 22.** Efecto de la velocidad del aire sobre la apariencia general de la lechuga.

*Apariencia General*

Velocidad (m/s)	Minuto 0	Minuto 120
0,20	9,00 <sup>A</sup>	8,33 <sup>A</sup>
0,30	9,00 <sup>A</sup>	8,33 <sup>A</sup>
0,50	8,67 <sup>A</sup>	6,33 <sup>B</sup>
0,70	8,67 <sup>A</sup>	5,33 <sup>B</sup>
1,00	9,00 <sup>A</sup>	6,67 <sup>B</sup>

Letras iguales en la misma columna indican que no hay diferencias significativas entre tratamientos ( $p \geq 0,05$  Tukey).

**Cuadro A. 23.** Efecto de la velocidad del aire sobre la apariencia de hojas externas de la lechuga.

*Apariencia de Hojas Externas*

Velocidad (m/s)	Minuto 0	Minuto 120
0,20	9,00 <sup>A</sup>	7,67 <sup>A</sup>
0,30	9,00 <sup>A</sup>	6,67 <sup>AB</sup>
0,50	8,67 <sup>A</sup>	6,33 <sup>AB</sup>
0,70	8,67 <sup>A</sup>	5,00 <sup>B</sup>
1,00	9,00 <sup>A</sup>	6,00 <sup>AB</sup>

Letras iguales en la misma columna indican que no hay diferencias significativas entre tratamientos ( $p \geq 0,05$  Tukey).

**Cuadro A. 24.** Efecto de la velocidad del aire sobre la apariencia de hojas internas de la lechuga.

*Apariencia de Hojas Internas*

Velocidad (m/s)	Minuto 0	Minuto 120
0,20	9,00 <sup>A</sup>	8,00 <sup>A</sup>
0,30	9,00 <sup>A</sup>	8,00 <sup>A</sup>
0,50	9,00 <sup>A</sup>	8,33 <sup>A</sup>
0,70	9,00 <sup>A</sup>	5,67 <sup>B</sup>
1,00	9,00 <sup>A</sup>	8,33 <sup>A</sup>

Letras iguales en la misma columna indican que no hay diferencias significativas entre tratamientos ( $p \geq 0,05$  Tukey).

**Cuadro A. 25.** Efecto de la velocidad del aire sobre la crujencia de hojas externas de la lechuga.

*Crujencia de Hojas Externas*

Velocidad (m/s)	Minuto 0	Minuto 120
0,20	5,00 <sup>A</sup>	5,00 <sup>A</sup>
0,30	5,00 <sup>A</sup>	3,33 <sup>AB</sup>
0,50	5,00 <sup>A</sup>	2,67 <sup>B</sup>
0,70	5,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>B</sup>
1,00	5,00 <sup>A</sup>	1,67 <sup>B</sup>

Letras iguales en la misma columna indican que no hay diferencias significativas entre tratamientos ( $p \geq 0,05$  Tukey).

**Cuadro A. 26.** Efecto de la velocidad del aire sobre la crujencia de hojas internas de la lechuga.

*Crujencia Hojas Internas*

Velocidad (m/s)	Minuto 0	Minuto 120
0,20	5,00 <sup>A</sup>	5,00 <sup>A</sup>
0,30	5,00 <sup>A</sup>	4,67 <sup>A</sup>
0,50	5,00 <sup>A</sup>	4,00 <sup>A</sup>
0,70	5,00 <sup>A</sup>	2,33 <sup>B</sup>
1,00	5,00 <sup>A</sup>	3,67 <sup>B</sup>

Letras iguales en la misma columna indican que no hay diferencias significativas entre tratamientos ( $p \geq 0,05$  Tukey).

**Cuadro A. 27.** Efecto de la velocidad del aire sobre la deshidratación de hojas externas de la lechuga.

*Deshidratación de Hojas Externas*

Velocidad (m/s)	Minuto 0	Minuto 120
0,20	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>
0,30	1,00 <sup>A</sup>	2,67 <sup>B</sup>
0,50	1,00 <sup>A</sup>	3,33 <sup>B</sup>
0,70	1,00 <sup>A</sup>	4,67 <sup>B</sup>
1,00	1,00 <sup>A</sup>	4,33 <sup>B</sup>

Letras iguales en la misma columna indican que no hay diferencias significativas entre tratamientos ( $p \geq 0,05$  Tukey).

**Cuadro A. 28.** Efecto de la velocidad del aire sobre la deshidratación de hojas internas de la lechuga.

*Deshidratación de Hojas Internas*

Velocidad (m/s)	Minuto 0	Minuto 120
0,20	1,00 <sup>A</sup>	2,00 <sup>B</sup>
0,30	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>
0,50	1,00 <sup>A</sup>	2,33 <sup>B</sup>
0,70	1,00 <sup>A</sup>	2,33 <sup>B</sup>
1,00	1,00 <sup>A</sup>	2,00 <sup>B</sup>

Letras iguales en la misma columna indican que no hay diferencias significativas entre tratamientos ( $p \geq 0,05$  Tukey).

**Cuadro A. 29.** Efecto de la velocidad del aire sobre el daño de hojas externas de la lechuga.

*Daño de Hojas Externas*

Velocidad (m/s)	Minuto 0	Minuto 120
0,20	1,00 <sup>A</sup>	1,67 <sup>A</sup>
0,30	1,00 <sup>A</sup>	1,67 <sup>A</sup>
0,50	1,00 <sup>A</sup>	2,00 <sup>B</sup>
0,70	1,00 <sup>A</sup>	2,33 <sup>B</sup>
1,00	1,00 <sup>A</sup>	2,67 <sup>AB</sup>

Letras iguales en la misma columna indican que no hay diferencias significativas entre tratamientos ( $p \geq 0,05$  Tukey).

**Cuadro A. 30.** Efecto de la velocidad del aire sobre el daño en hojas internas de la lechuga.

***Daño de Hojas Internas***

Velocidad (m/s)	Minuto 0	Minuto 120
0,20	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>
0,30	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>
0,50	1,00 <sup>A</sup>	1,33 <sup>A</sup>
0,70	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>
1,00	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>

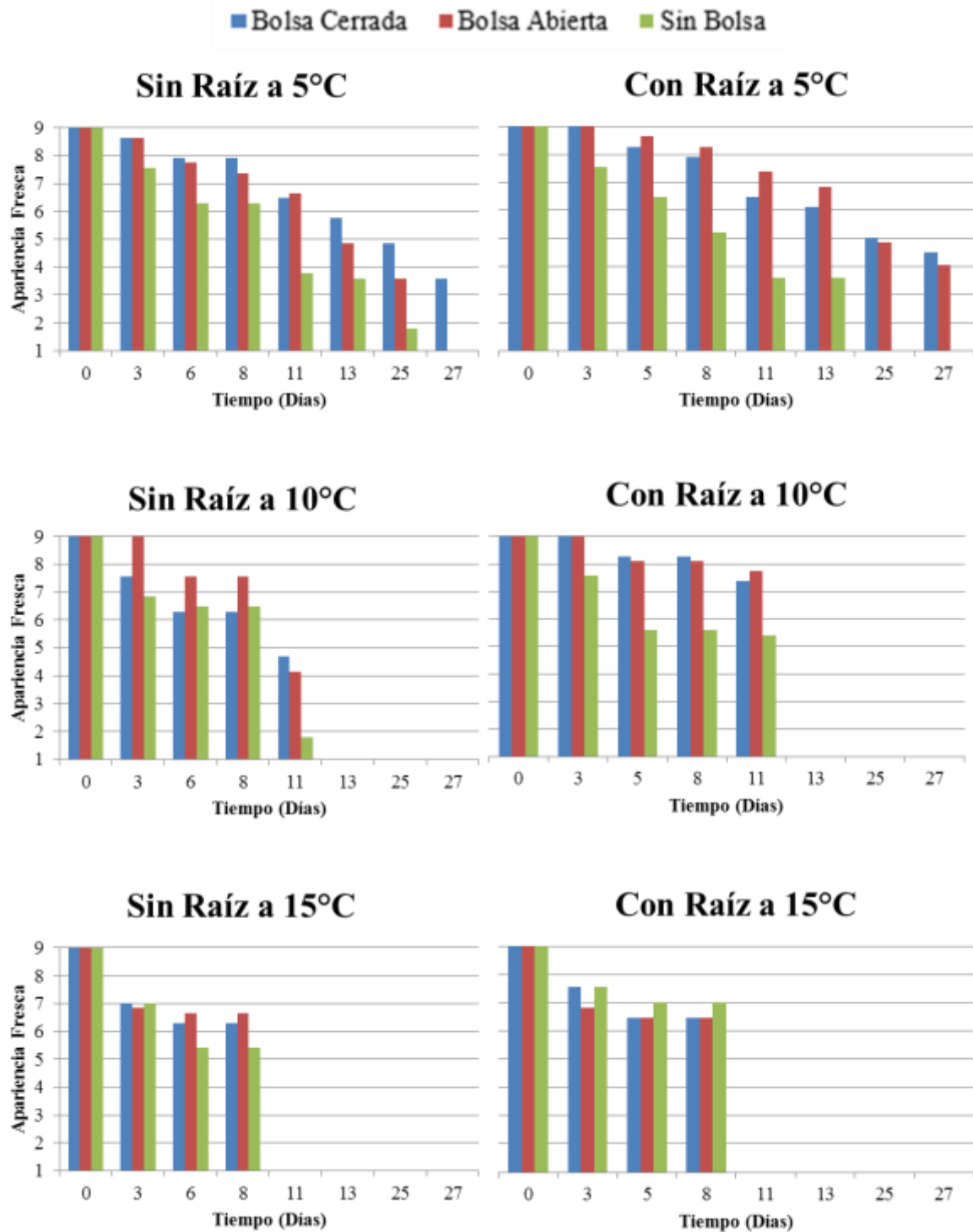
Letras iguales en la misma columna indican que no hay diferencias significativas entre tratamientos ( $p \geq 0,05$  Tukey).

**Cuadro A. 31.** Efecto de la velocidad del aire sobre las pudriciones de la lechuga.

***Pudriciones***

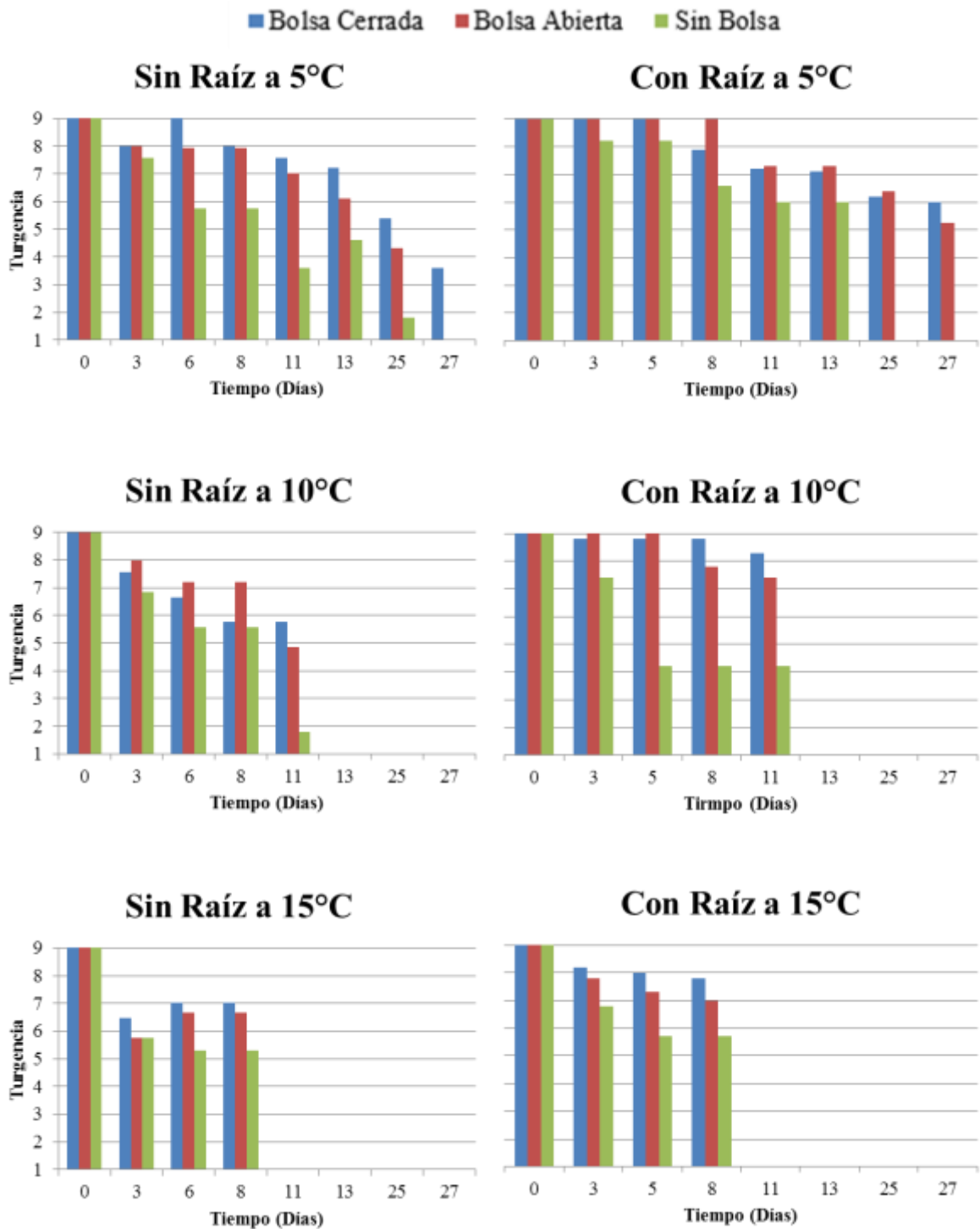
Velocidad (m/s)	Minuto 0	Minuto 120
0,20	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>
0,30	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>
0,50	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>
0,70	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>
1,00	1,00 <sup>A</sup>	1,00 <sup>A</sup>

Letras iguales en la misma columna indican que no hay diferencias significativas entre tratamientos ( $p \geq 0,05$  Tukey).



**Figura A1. 1.** Efecto del tipo de empaque y el corte de la raíz sobre la Apariencia fresca de la lechuga hasta por 27 días de almacenamiento a 5, 10 y 15°C.\*

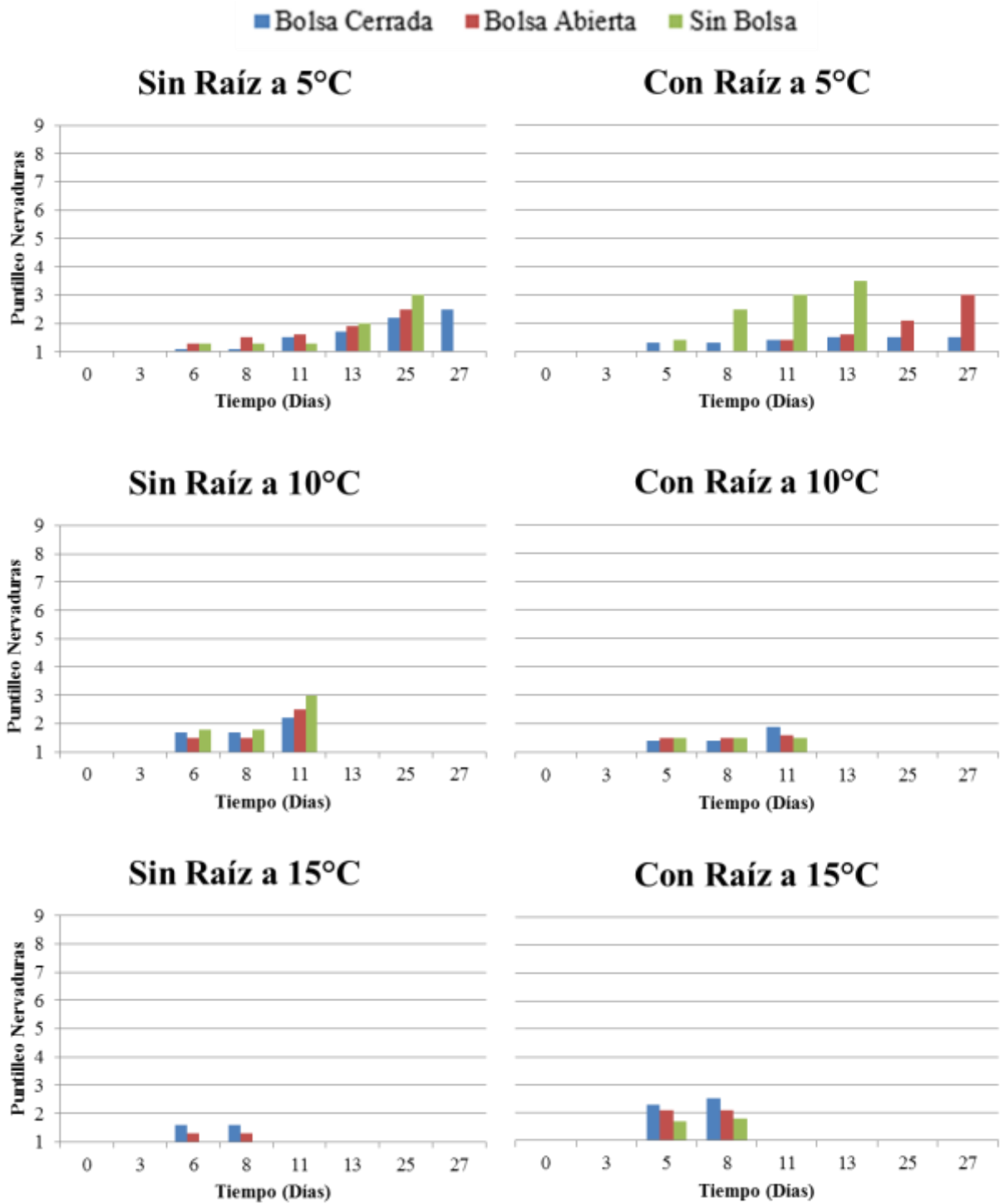
\*Mediciones hasta que el producto perdía su valor comercial.



**Figura A1. 2.** Efecto del tipo de empaque y el corte de la raíz sobre la turgencia de la lechuga hasta por 27 días de almacenamiento a 5, 10 y 15°C.\*

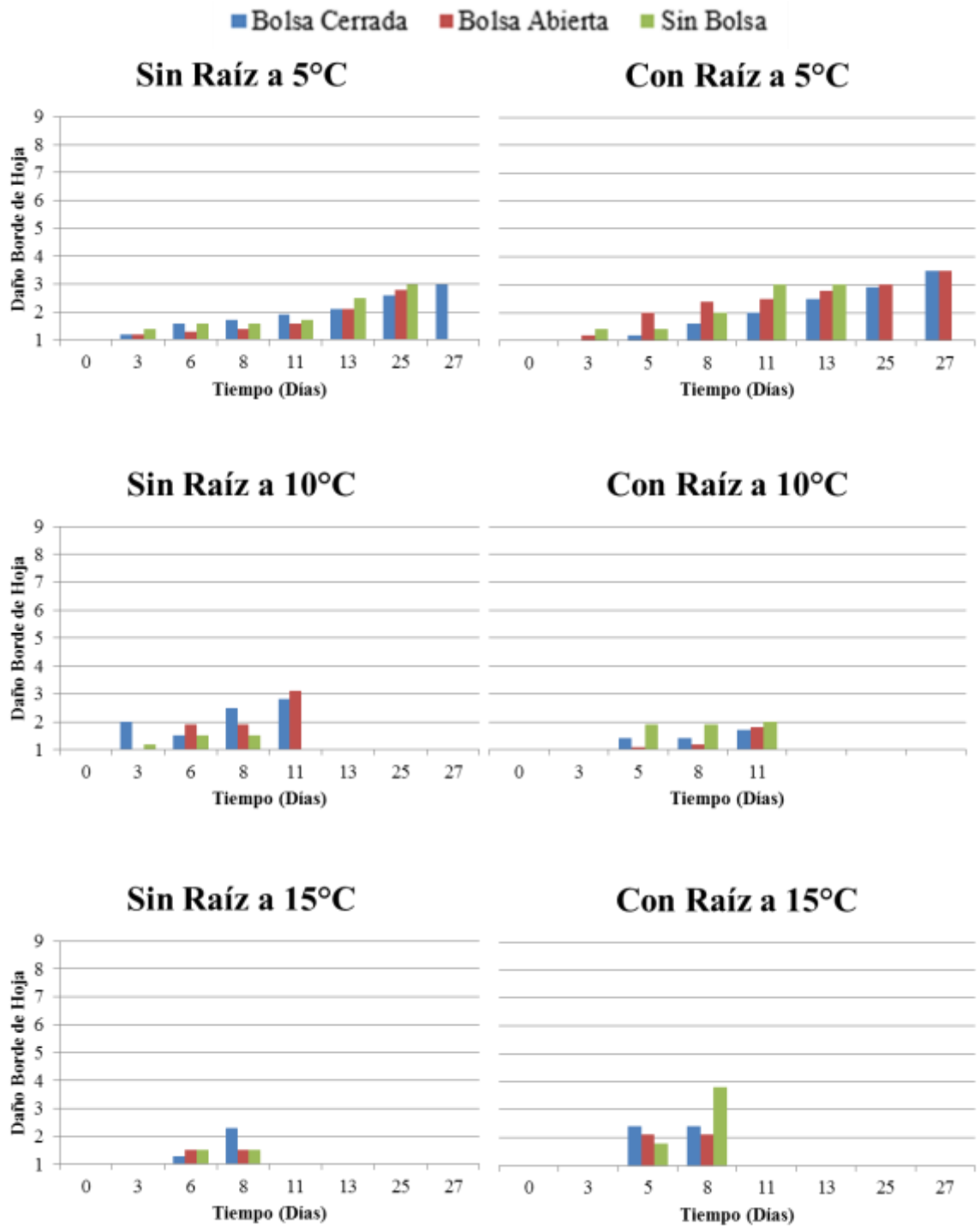
\*Mediciones hasta que el producto perdía su valor comercial.



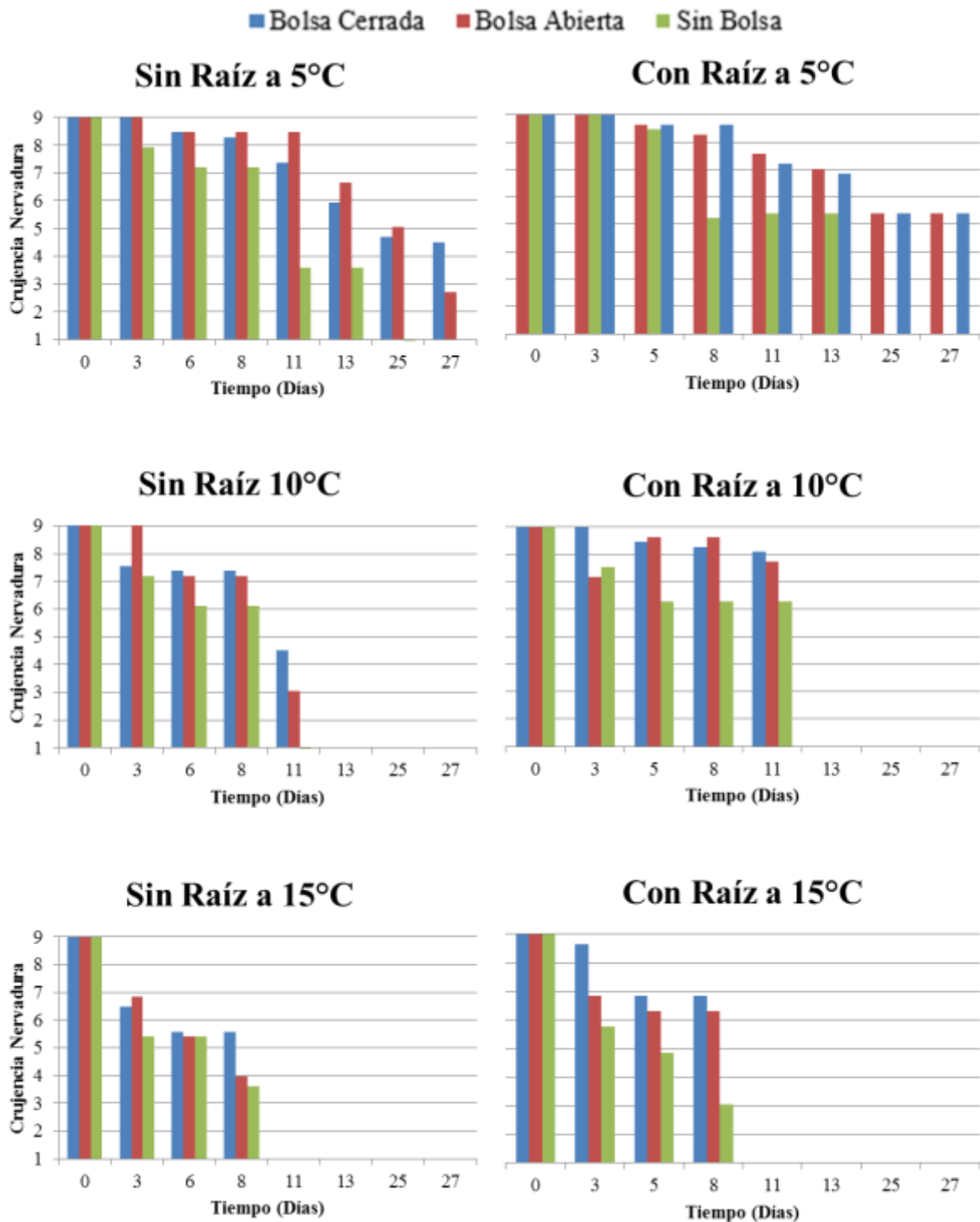


**Figura A1. 3.** Efecto del tipo de empaque y el corte de la raíz sobre el puntilleo en nervaduras de la lechuga hasta por 27 días de almacenamiento a 5, 10 y 15°C.\*

\*Mediciones hasta que el producto perdía su valor comercial.

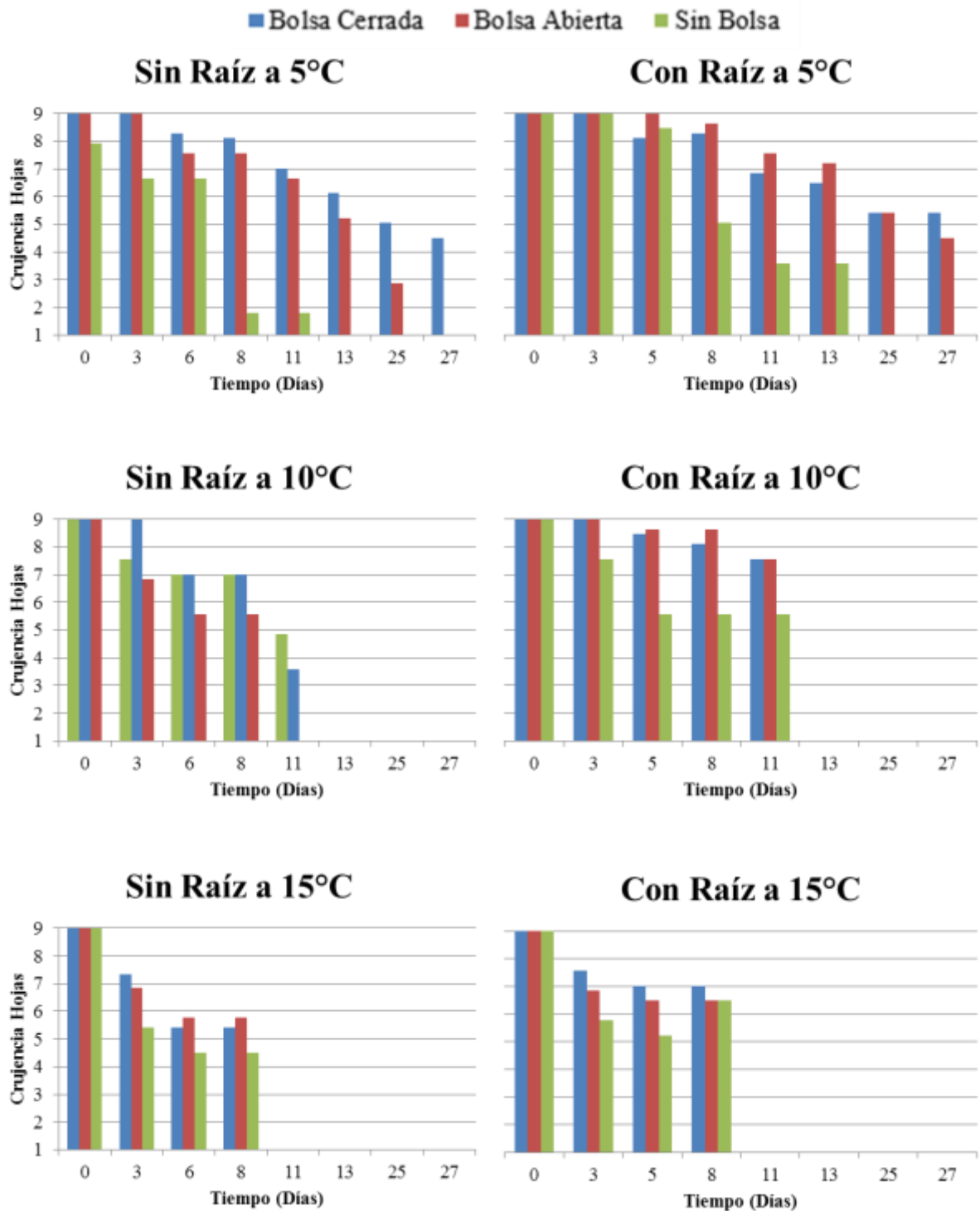


**Figura A1. 4.** Efecto del tipo de empaque y el corte de la raíz sobre el daño en borde de hojas de la lechuga hasta por 27 días de almacenamiento a 5, 10 y 15°C.\*  
 \*Mediciones hasta que el producto perdía su valor comercial.



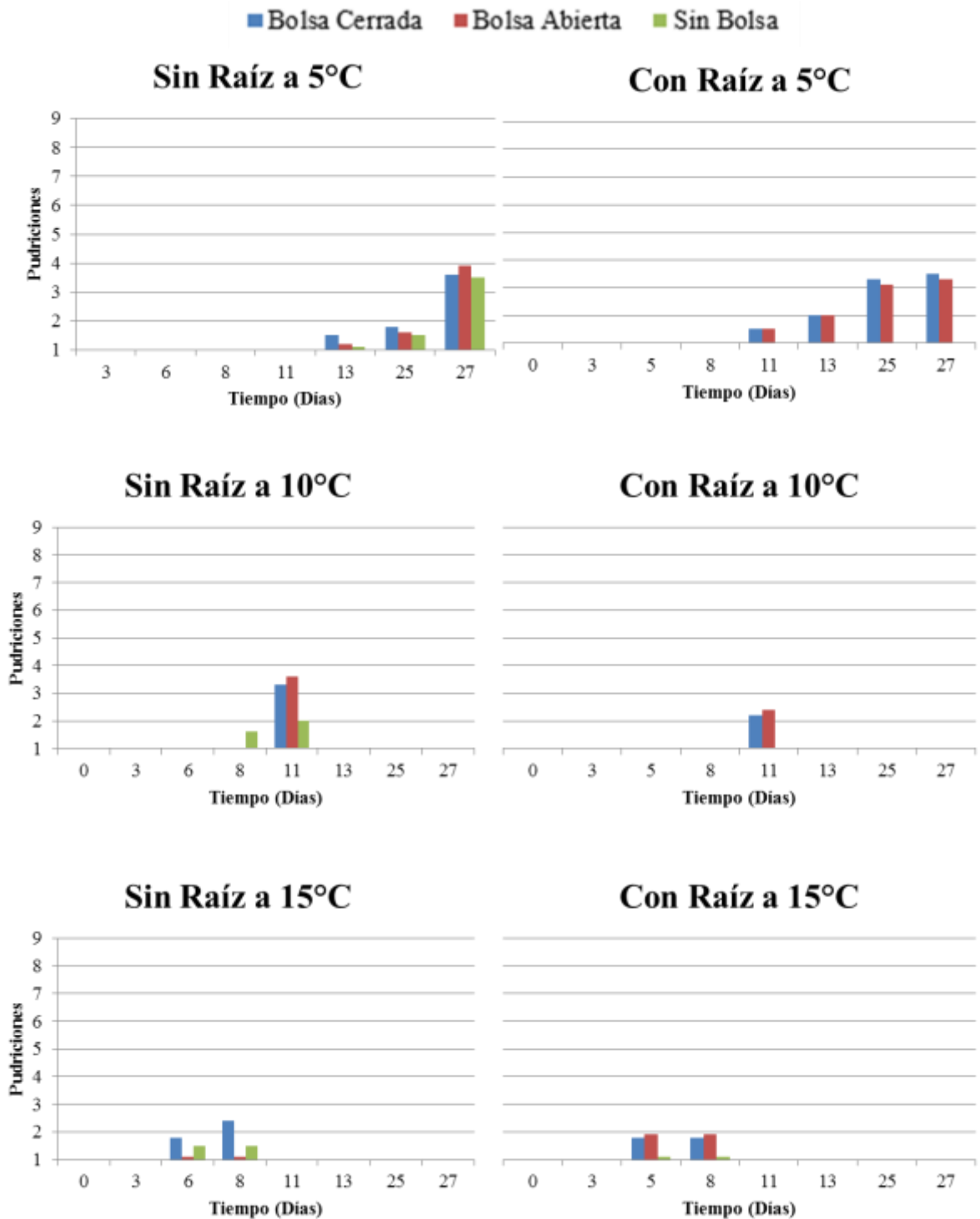
**Figura A1. 5.** Efecto del tipo de empaque y el corte de la raíz sobre la crujencia en nervaduras de la lechuga hasta por 27 días de almacenamiento a 5, 10 y 15°C.\*

\*Mediciones hasta que el producto perdía su valor comercial.



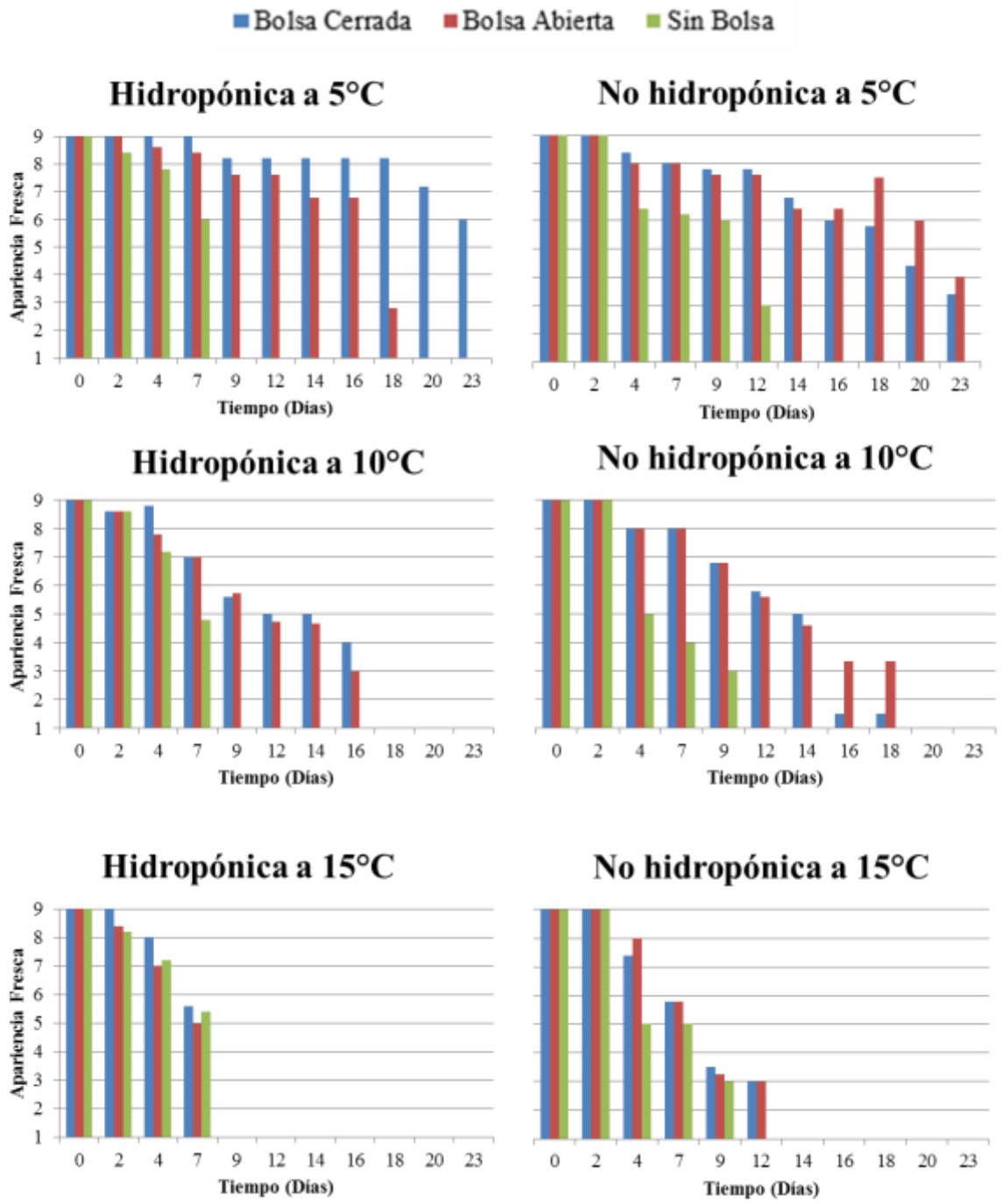
**Figura A1. 6.** Efecto del tipo de empaque y el corte de la raíz sobre la crujencia en hojas de la lechuga hasta por 27 días de almacenamiento a 5, 10 y 15°C.\*

\*Mediciones hasta que el producto perdía su valor comercial



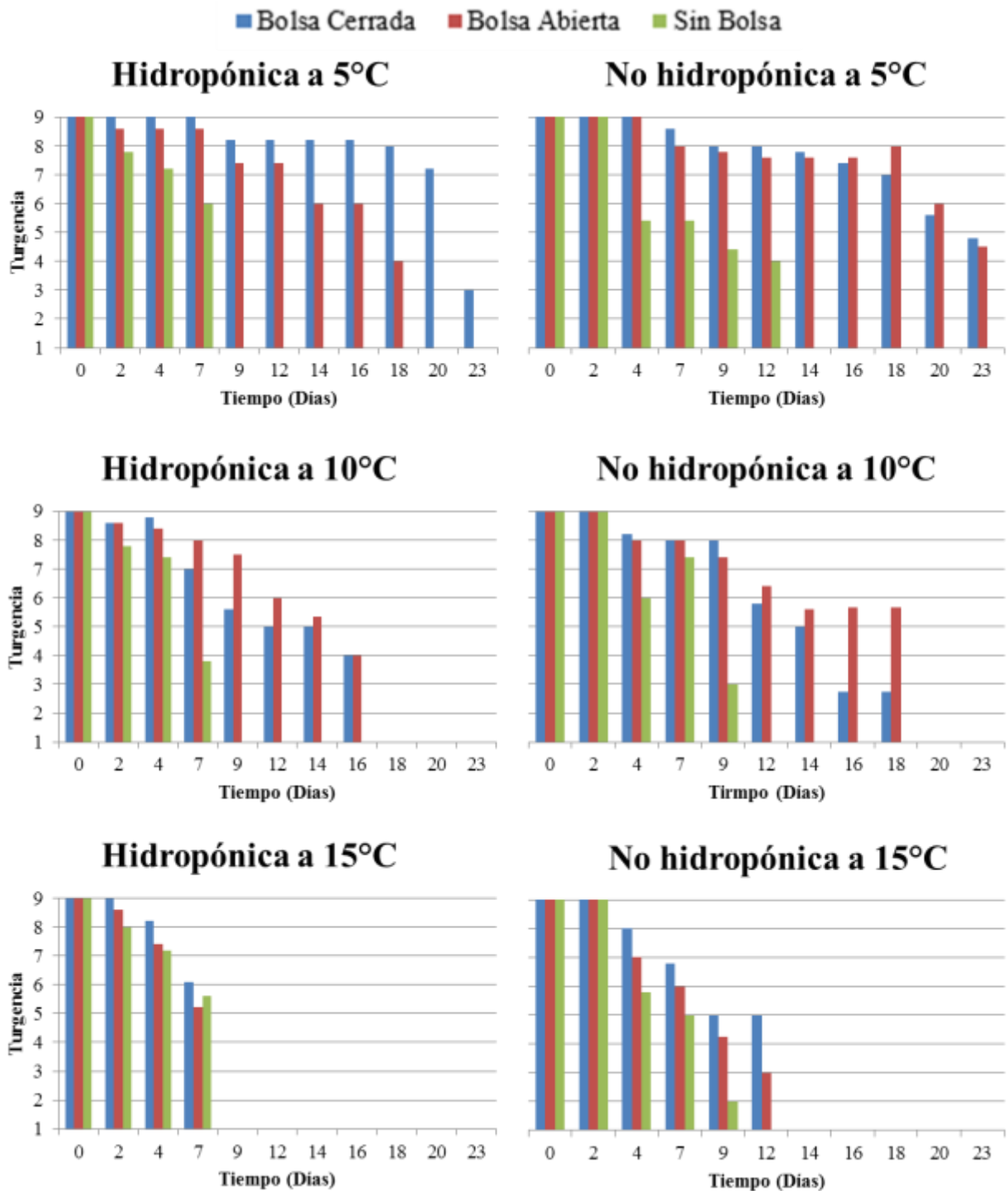
**Figura A1. 7.** Efecto del tipo de empaque y el corte de la raíz sobre pudriciones de la lechuga hasta por 27 días de almacenamiento a 5, 10 y 15°C.\*

\*Mediciones hasta que el producto perdía su valor comercial



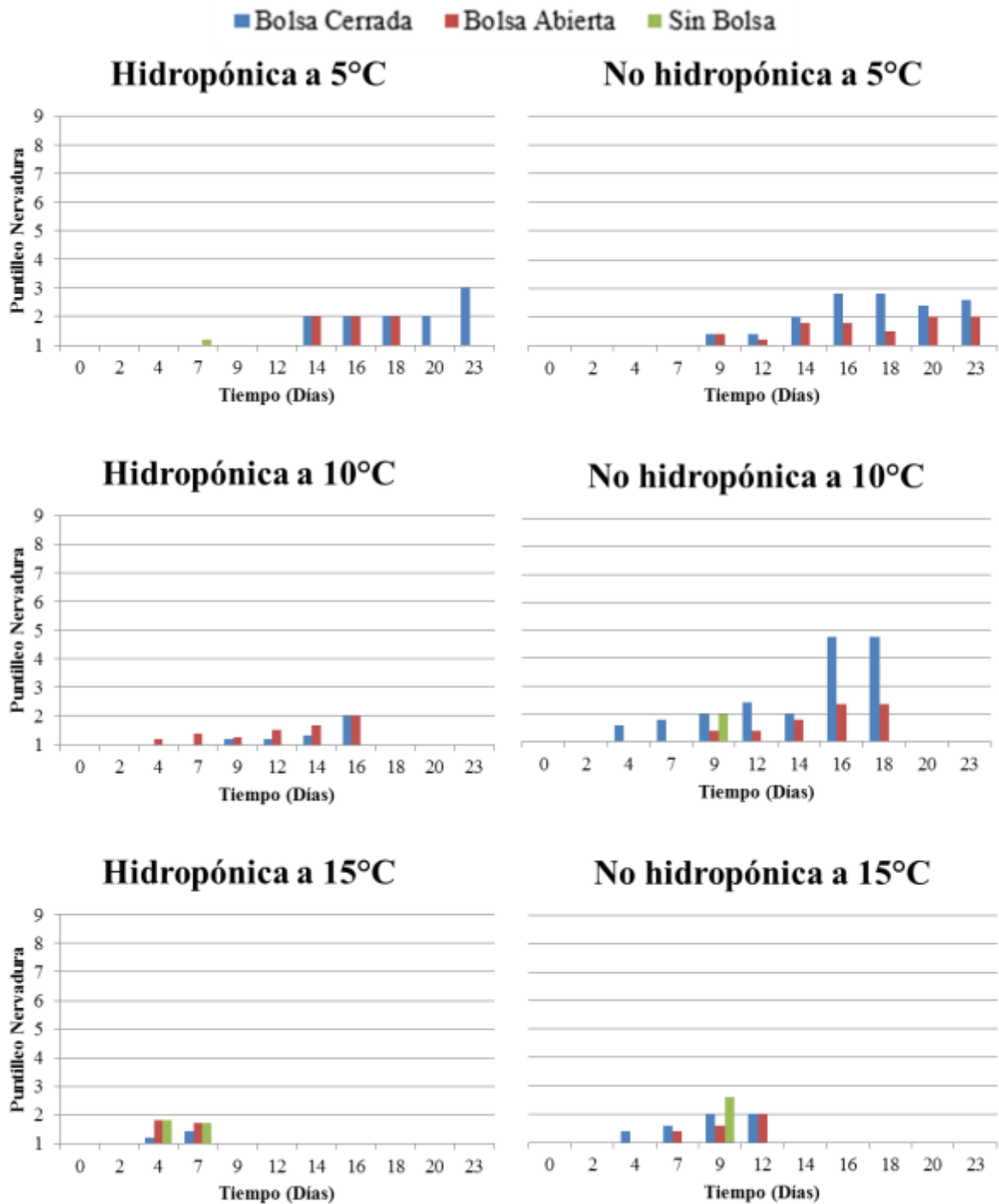
**Figura A2. 1.** Efecto del tipo de empaque y el método de producción sobre la Apariencia fresca de la lechuga hasta por 23 días de almacenamiento a 5, 10 y 15°C.\*

\*Mediciones hasta que el producto perdía su valor comercial.



**Figura A2. 2.** Efecto del tipo de empaque y el método de producción sobre la turgencia de la lechuga hasta por 23 días de almacenamiento a 5, 10 y 15°C.\*

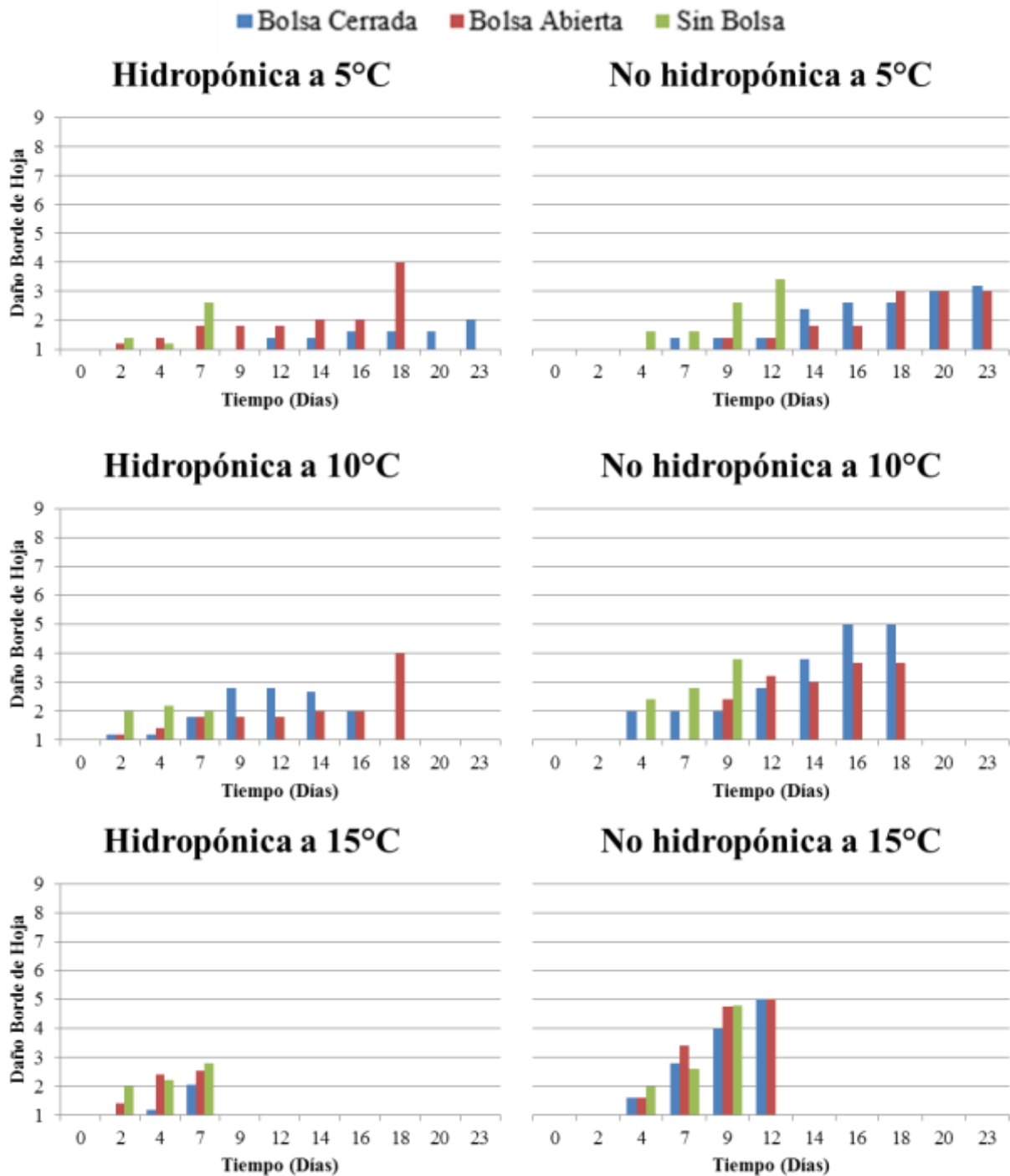
\*Mediciones hasta que el producto perdía su valor comercial.



**Figura A2. 3.** Efecto del tipo de empaque y el método de producción sobre el puntaje en nervaduras de la lechuga hasta por 23 días de almacenamiento a 5, 10 y 15°C.\*

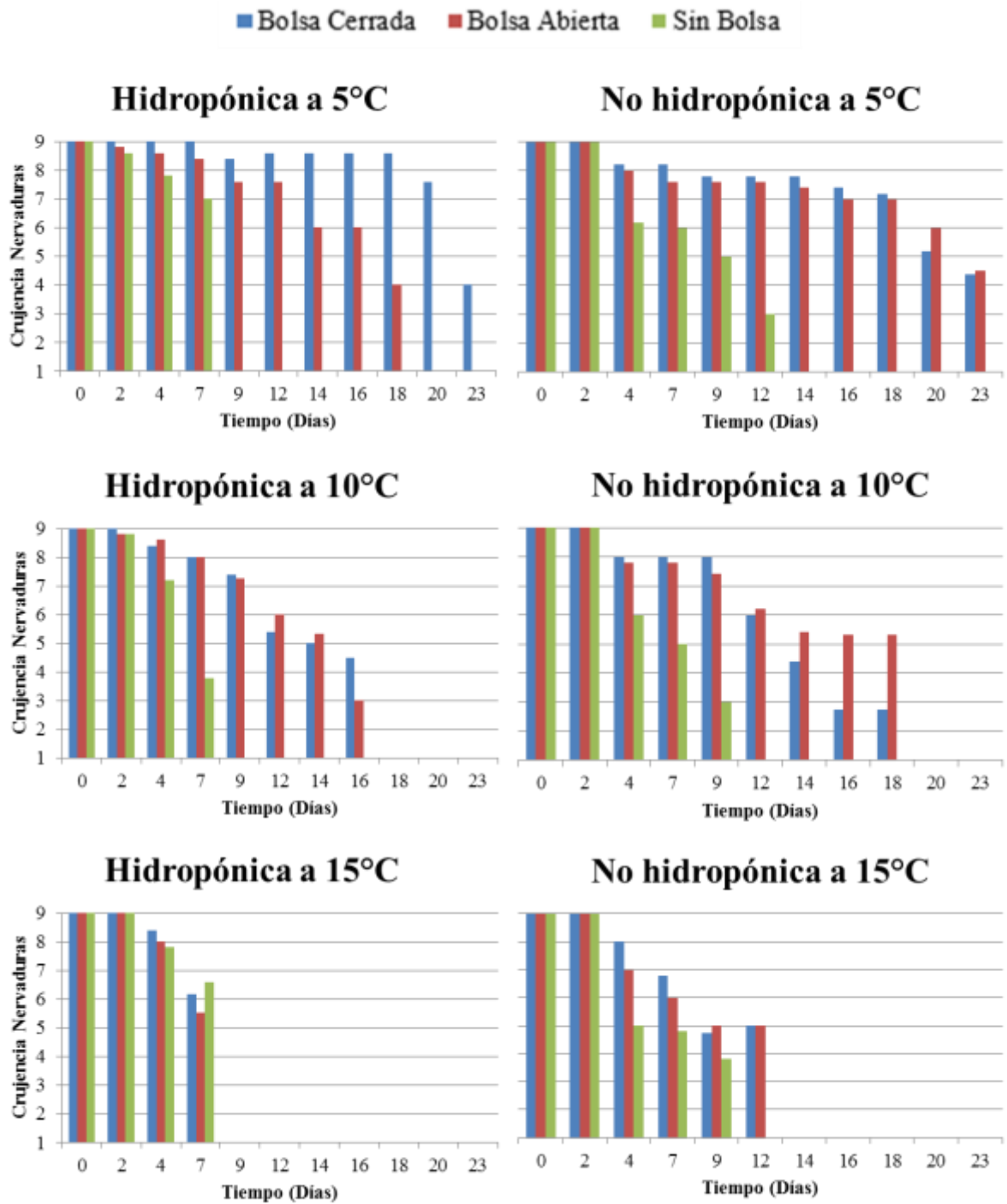
\*Mediciones hasta que el producto perdía su valor comercial.





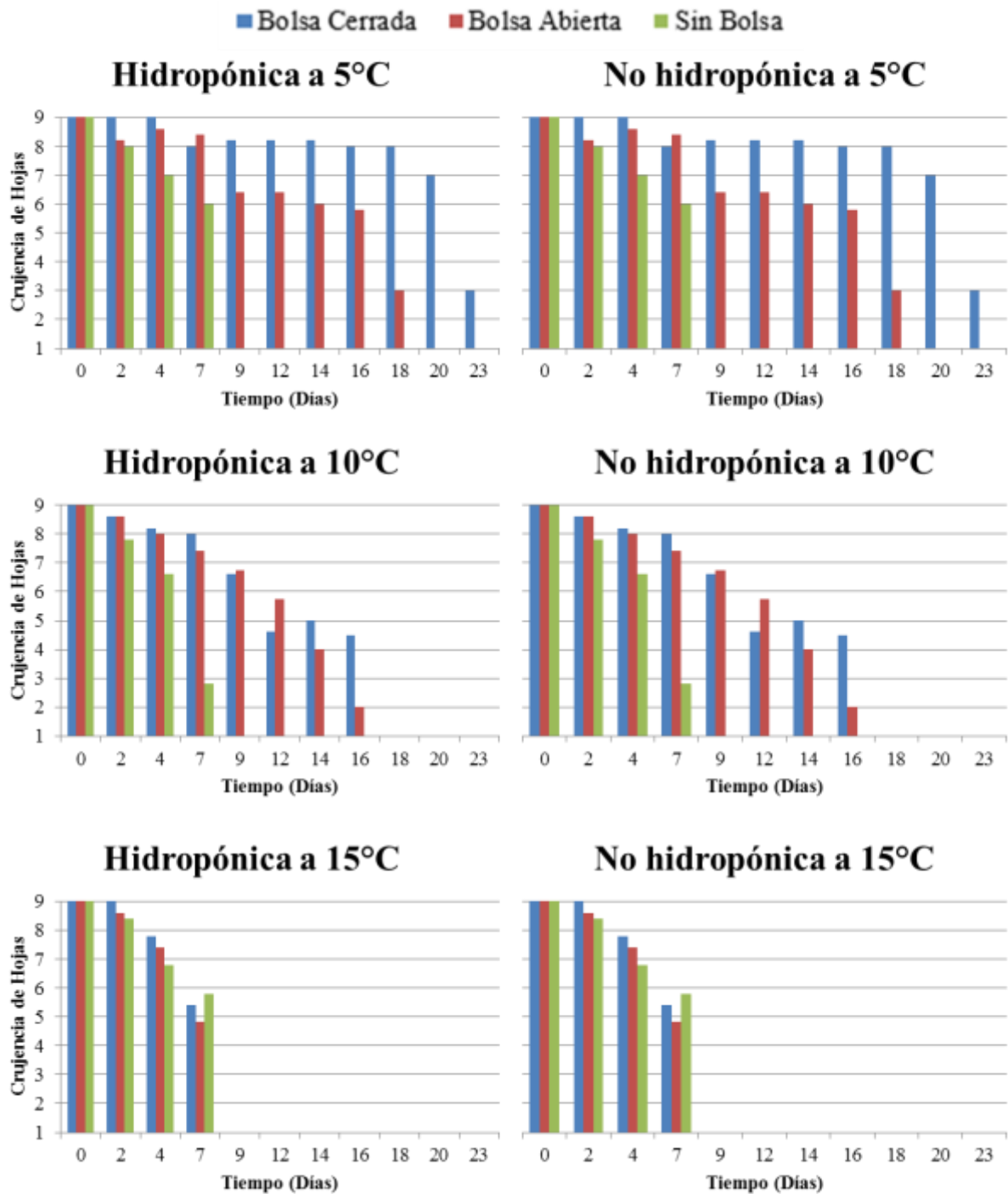
**Figura A2. 4.** Efecto del tipo de empaque y el método de producción sobre el daño en borde de hojas de la lechuga hasta por 23 días de almacenamiento a 5, 10 y 15°C.\*

\*Mediciones hasta que el producto perdía su valor comercial.



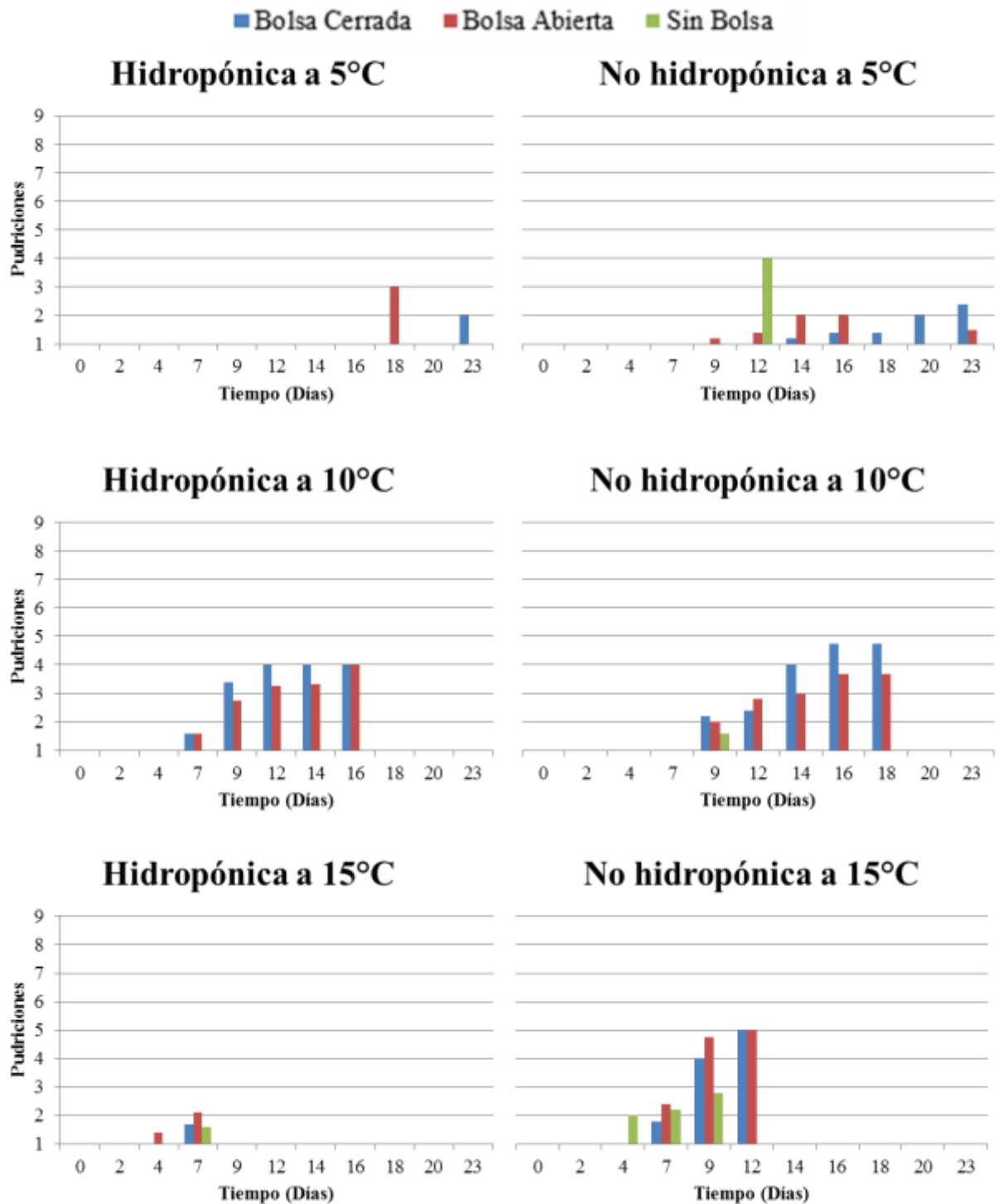
**Figura A2. 5.** Efecto del tipo de empaque y el método de producción sobre la crujencia en nervaduras de la lechuga hasta por 23 días de almacenamiento a 5, 10 y 15°C.\*

\*Mediciones hasta que el producto perdía su valor comercial.



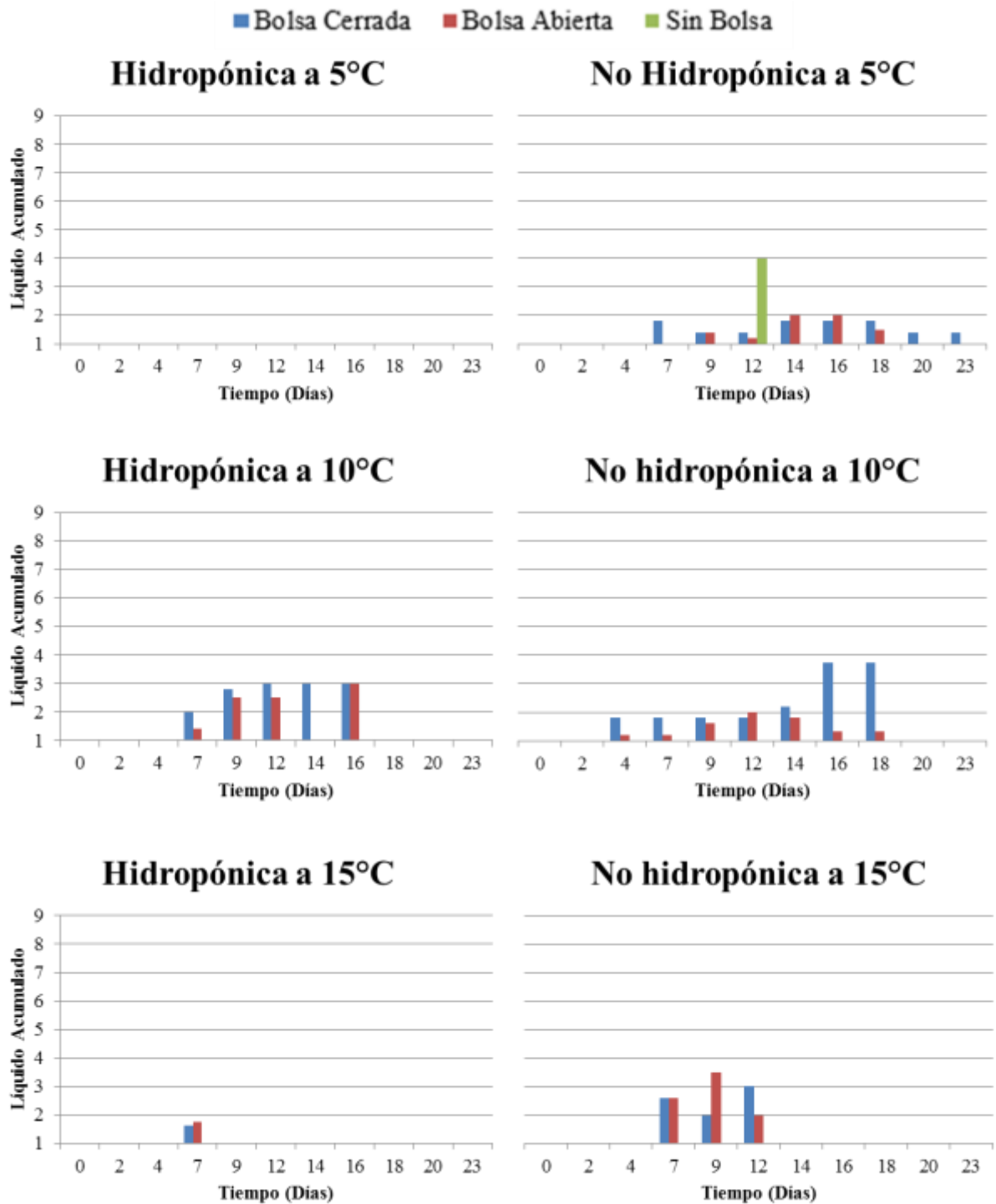
**Figura A2. 6.** Efecto del tipo de empaque y el método de producción sobre la crujencia en hojas de la lechuga hasta por 23 días de almacenamiento a 5, 10 y 15°C.\*

\*Mediciones hasta que el producto perdía su valor comercial.



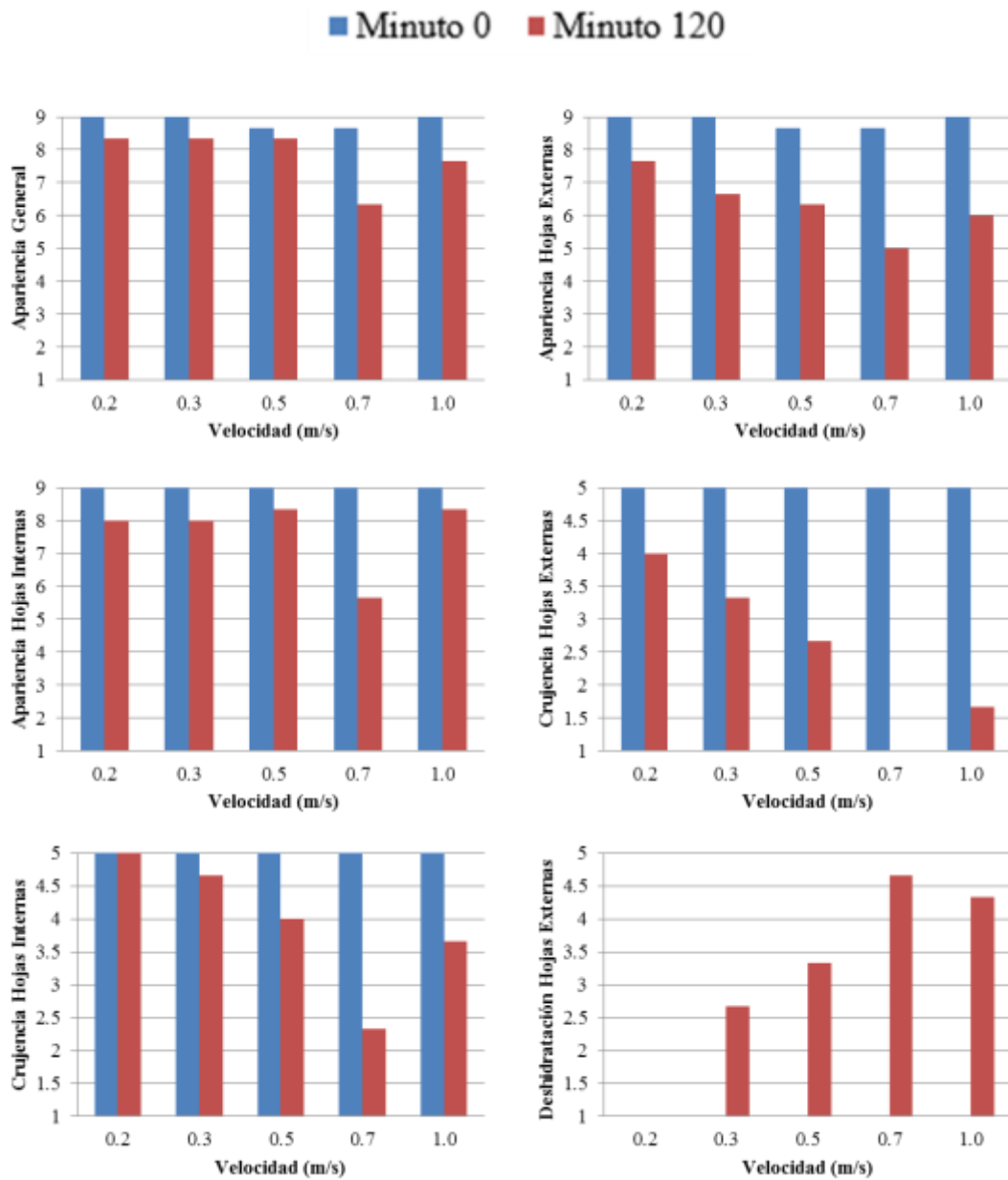
**Figura A2. 7.** Efecto del tipo de empaque y el método de producción sobre pudriciones de la lechuga hasta por 23 días de almacenamiento a 5, 10 y 15°C.\*

\*Mediciones hasta que el producto perdía su valor comercial.

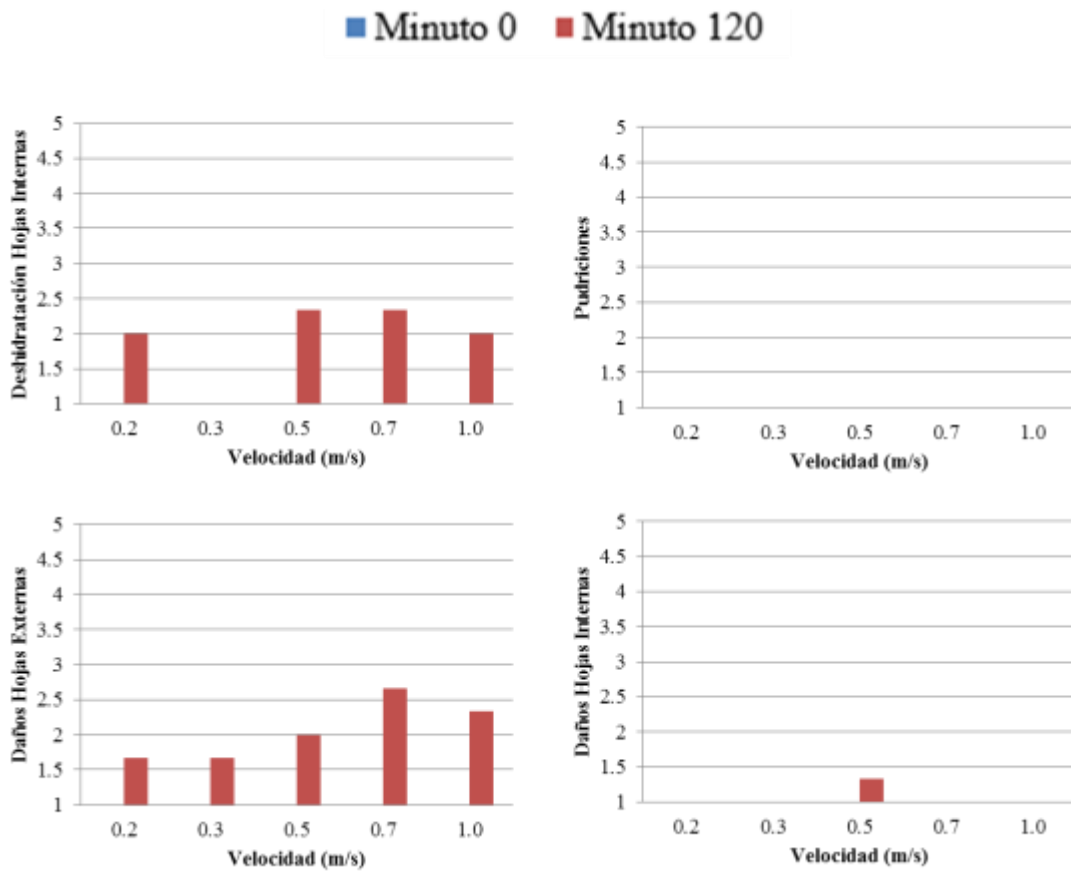


**Figura A2. 8.** Efecto del tipo de empaque y el método de producción sobre el líquido acumulado de la lechuga hasta por 23 días de almacenamiento a 5, 10 y 15°C.\*

\*Mediciones hasta que el producto perdía su valor comercial.



**Figura A3. 1.** Efecto de la velocidad del aire sobre la apariencia general, apariencia hojas externas e internas, crujencia de hojas externas e internas y deshidratación de hojas externas de la lechuga.



**Figura A3. 2.** Efecto de la velocidad del aire sobre deshidratación de hojas internas, pudriciones y daños en hojas externas e internas de la lechuga.