

Dinámica de la pérdida de masa de la lechuga durante el almacenamiento poscosecha

J.A. Quirós-Martínez¹ y M. Montero-Calderón^{1,2}

1 Escuela de Ingeniería de Biosistemas, Universidad de Costa Rica. **2** Laboratorio de Tecnología Poscosecha, Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. marta.montero@ucr.ac.cr

RESUMEN: Se estudió la dinámica de la pérdida de masa de lechuga fresca a 4, 10 y 14°C y tres humedades relativas, dadas por las condiciones de empaque (bolsa de polipropileno cerrada (BC), abierta (BA) y sin bolsa (SB)). Se estudió el efecto del almacenamiento con y sin raíz y la velocidad del aire (0,2 a 1,0 m s⁻¹), sobre las pérdidas de humedad y el coeficiente de transpiración durante el almacenamiento. Se encontró que el empaque fue el factor que tuvo mayor incidencia sobre la pérdida de masa de la lechuga, las pérdidas fueron despreciables para las lechugas en BC, moderadas cuando se colocaron en BA (5% en 5 a 8 días) y muy altas para las que se mantuvieron SB (10% en 2 a 3 días). En general, ni la temperatura de almacenamiento, ni la conservación con o sin raíz no tuvieron efecto significativo sobre la pérdida de humedad, aunque el deterioro de la calidad fue mayor para las temperaturas mayores. Los coeficientes de transpiración fueron inferiores a 800 mg kg⁻¹s⁻¹MPa⁻¹ para el producto en bolsas cerradas, del orden de 1000 mg kg⁻¹s⁻¹MPa⁻¹ para la lechuga en bolsas abierta.

Palabras clave: lechuga, coeficiente de transpiración, pérdida de masa.

ABSTRACT: Fresh lettuce weight loss dynamics through postharvest storage was studied at 4, 10 and 14°C and three relative humidity conditions, given by three packaging alternatives (closed polypropylene bags (BC), opened polypropylene bags (BA) and directly stored in the cold rooms without package (SB)). The effect of lettuce storage with or without its root and air velocity (0,2 a 1,0 m s⁻¹) on weight losses and transpiration coefficients were studied throughout storage. It was found that packaging was the most influencing factor on lettuce weight loss, which were negligible for BC packed lettuce, while 5% losses in 5 to 8 days were obtained for BA packaged and up to 10% in 2-3 days for produces without package. Storage temperature, harvesting with or without the root and production system had little effect on weight losses and transpiration coefficients. BC lettuce transpiration coefficients were below 800 mg kg⁻¹s⁻¹MPa⁻¹, near 1000 mg kg⁻¹s⁻¹MPa⁻¹ for BA along storage, while for unpacked lettuce, transpiration coefficients varied from 700 to 5000 mg kg⁻¹s⁻¹MPa⁻¹ during the first three days, and near 2000 thereafter. Temperature had little effect on transpiration coefficients for BC and BA packages. An increase of air velocity from 0,2 to 0,5 m s⁻¹ accelerated weight loss and transpiration coefficients (3500-13500 kg⁻¹s⁻¹MPa⁻¹), but no further increase was observed for faster air speed.

Keywords: lettuce, transpiration coefficient, water loss.

Área: Frutas y hortalizas

INTRODUCCIÓN

Las hortalizas de hoja son productos muy perecederos que se deterioran rápidamente después de la cosecha (Luna, Tudela, Martínez, Allende & Gil, 2013). Son muy susceptibles a la pérdida de humedad, con las consecuentes pérdidas de peso y de calidad del producto, que pierde brillo, turgencia, cambia de color y se encoge, a la vez que favorece el crecimiento de microorganismos que aceleran el deterioro (Zhan Li, Hu, Pang & Fan, 2012). La pérdida de humedad de hortalizas como la lechuga (*Lactuca sativa*) limita la vida útil del producto, pero puede controlarse manteniéndolo en un ambiente de baja temperatura (0-3°C) y alta humedad relativa. La migración de humedad del producto hacia el exterior depende del déficit de la presión de vapor del aire (DPV), dado por el gradiente que existe entre la presión de vapor de agua en los espacios intercelulares (PVi) y la presión de vapor en el ambiente que rodea el producto (PVe) a una temperatura dada. Dentro del producto fresco la PVi se encuentra muy cerca de la saturación (95-100% HR), mientras que la PVe varía según el ambiente que rodea al producto, dentro y fuera de los empaques.

Después de la cosecha, la transferencia de agua dentro del producto se da por tres rutas principales (Ben Yehoshua & Rodov, 2003): de célula a célula por difusión, como respuesta a gradientes de energía; por espacios interfibrilares de las paredes celulares por gradientes de presión del agua y por espacios intercelulares por gradientes de presión de vapor, siendo las dos últimas las vías más rápidas, por los gradientes de las presiones hidrostática y osmótica y las diferencias de presión con el exterior. También señalan que la atmósfera dentro de los intercelulares está prácticamente saturada y no existen barreras internas para la transferencia de masa, por lo cual ésta se puede considerar uniforme dentro del producto y la resistencia al movimiento del agua se localiza en la superficie del producto. Por otro lado, Tano, Kamenan & Arul (2005) señalan que, a pesar de que los estomas se cierran después de la cosecha, la transferencia de masa ocurre a través de la cutícula y de estomas parcialmente cerrados.

La respuesta de un producto a la pérdida de humedad puede ser descrito con el coeficiente de transpiración, definido como la pérdida de agua respecto al déficit de presión de vapor (DPV), por unidad de masa del producto por unidad de tiempo, el cual permite comparar entre productos y predecir la respuesta de estos a las condiciones de almacenamiento (Xanthopoulos, Ahanasiou, Lentzou, Boudouvis & Lambrino, 2014). Hellickson, Driggers, & Muehling (1983) reportaron coeficientes de transpiración del orden de 7400 y 6150 $\text{mg kg}^{-1} \text{s}^{-1} \text{mPa}^{-1}$, para la lechuga y col de Bruselas, respectivamente. Al perder agua, el producto pierde la turgencia, frescura, brillo y hasta algunas variaciones de color, y estos cambios inciden negativamente sobre la vida y el valor comercial de los productos. La tolerancia máxima de pérdidas de humedad durante su comercialización, es de 4 a 5%, mientras que otros productos como la papa y el tomate, se acepta hasta un 7% de pérdidas y para otros productos como repollo, apio y cebolla, hasta un 10% (Ben-Yehoshua & Rodov 2003). La literatura reporta condiciones óptimas de almacenamiento para la lechuga y otras hortalizas de hoja de bajas temperaturas (0-5°C) y alta humedad relativa ($\geq 95\%$) (Cerdas & Montero, 2004; Kader, 2011).

El objetivo de este estudio fue estudiar la dinámica de pérdida de masa de hortalizas de hoja ante diferencias en las condiciones de producción y almacenamiento, utilizando como modelo la lechuga (*Lactuca sativa*), con el fin de desarrollar una herramienta que permita predecir las pérdidas de masa de esos productos durante el manejo poscosecha y plantear estrategias para minimizarlas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio consistió de dos ensayos en los que se evaluaron los cambios de la lechuga durante el almacenamiento, para producto con y sin raíz, dos sistemas de producción y según la velocidad del aire.

Efecto de la temperatura, el empaque y el corte de la raíz sobre la pérdida de masa, el coeficiente de transpiración y la calidad poscosecha de la lechuga. Se utilizaron 90 lechugas tipo Americana (cultivar EG) de producción hidropónica en un invernadero en San Pedro de Poás de Alajuela, cosechadas con el grado de madurez y tamaño comercial (192 g/unidad); el producto se cosechó con raíz y se llevó al Laboratorio de Tecnología Poscosecha (LTP) del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica en un período menor a 2 horas. Se dividieron en seis grupos y se cortó la raíz a las lechugas de tres de los grupos con un cuchillo afilado. Las lechugas se lavaron con agua clorada (200 ppm), se escurrieron, empacaron, colocaron en cajas plásticas y se almacenaron en tres cuartos fríos a 4°C, 10°C y 14°C, con tres condiciones de envasado: bolsa de polipropileno cerrada (BC), bolsa de polipropileno abierta (BA) y sin bolsa (SB)), tanto para el producto con o sin raíz. Se prepararon cinco repeticiones por tratamiento. La humedad relativa dentro de los empaques se mantuvo igual o mayor a 95 %. Se midió la masa de cada lechuga cada uno o los días (balanza Ohaus Adventurer ARC120) y los cambios en la apariencia y calidad de la lechuga por hasta 20 días. Se registraron las condiciones de temperatura y humedad relativa dentro de los cuartos fríos a lo largo del almacenamiento con registradores de datos HOBO (Onset Hobo Data Loggers). Se calcularon las pérdidas de peso acumuladas con respecto a la masa inicial del producto y se determinaron los coeficientes de transpiración de la lechuga para las distintas condiciones de almacenamiento, utilizando la siguiente ecuación.

$$\dot{M} = k_s \cdot (P_s - P_a) \quad (1)$$

Donde: \dot{M} : Tasa de transpiración ($\frac{mg}{s \cdot kg}$), obtenida de la pendiente de la curva de pérdida de peso; k_s : Coeficiente de transpiración ($\frac{mg}{s \cdot kg \cdot MPa}$); P_s : Presión de vapor de saturación (MPa) (a la temperatura del producto); y P_a : presión de vapor del agua a la temperatura de almacenamiento (MPa).

Efecto de la velocidad del aire sobre la pérdida de masa y el coeficiente de transpiración. Se utilizaron 18 lechugas tipo Americana hidropónicas con raíz, adquiridas en un supermercado local y almacenadas en bolsas de polipropileno cerradas a 4°C por un día en el Laboratorio de Tecnología Poscosecha, CIA, UCR. Se utilizó un secador de túnel (ducto cuadrado) con cinco velocidades del aire (0,2; 0,3; 0,5; 0,7 y 1,0 m/s), operado a temperatura ambiente. Para ello se colocó una lechuga a la vez en la cámara de secado, sin empaque, con la raíz expuesta directamente al flujo de aire con tres repeticiones siguiendo un modelo irrestricto al azar. Se registraron los cambios en la masa de la lechuga cada 15 minutos durante dos horas, con una balanza granataria marca Scientech (Modelo SG 5000, precisión 0,1 gramos). También se usaron registradores de temperatura y humedad relativa marca Hobo (Onset Hobo Data Loggers), dispuestos en el túnel, antes y después de la lechuga, en la superficie del producto y alrededor del mismo. Los resultados experimentales se analizaron utilizando el programa estadístico INFOSTAT (ANOVA) y la separación de medias se hizo utilizando Tukey con 0,05%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encontró que el empaque fue el factor que tuvo mayor influencia sobre la pérdida de humedad, superando la temperatura de almacenamiento y la conservación de la raíz. Para cualquier temperatura, las lechugas empacadas en bolsas de polipropileno cerradas, no mostraron pérdidas de masa significativas durante los 10 días de almacenamiento, independientemente de si tenían raíz (Figura 1); incluso las lechugas almacenadas a 4°C, se mantuvieron en buenas condiciones aún después de 25 días (no se muestran los datos). Esto se explica porque la baja temperatura reduce la actividad metabólica, mientras que la alta humedad relativa dentro de los empaques, cercana a la saturación, hace que el gradiente entre las presiones de vapor del espacio de cabeza del empaque y la presión de vapor dentro de la lechuga fuera muy pequeño, y por tanto no promovió la movilización del agua del producto hacia el ambiente. De manera que el material de empaque actúa como una barrera para el paso de vapor de agua a través de las paredes de la bolsa y a la vez permite mantener una alta humedad relativa dentro del empaque.

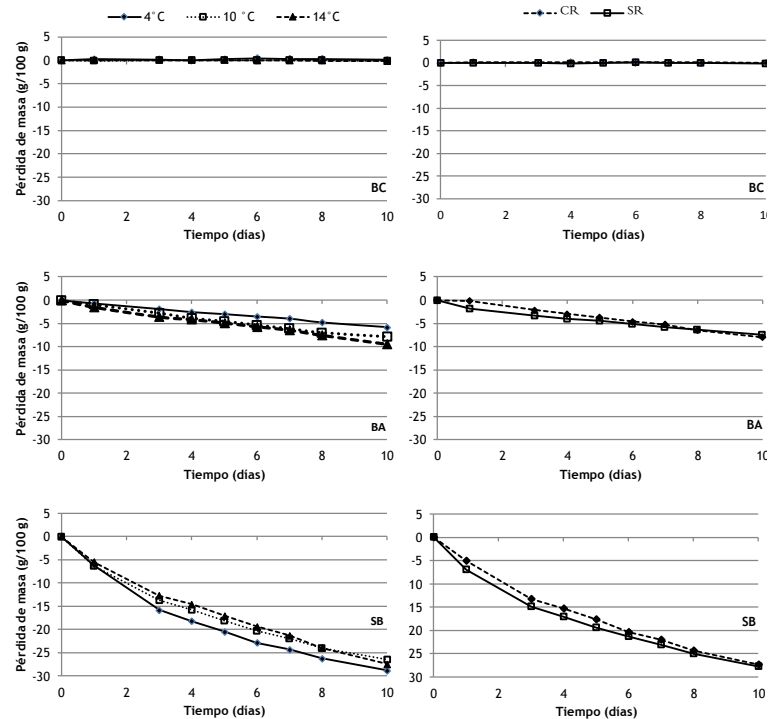


Figura 1 Efecto de la temperatura de almacenamiento y el corte de la raíz (CR (con raíz) o SR (sin raíz)) sobre la pérdida de masa de la lechuga empacada en bolsa cerrada (BC), abierta (BA) o sin bolsa (SB).

Cuando la lechuga se almacenó directamente en cajas plásticas (sin bolsa), las pérdidas fueron muy rápidas a todas las temperaturas, perdiendo entre un 15 y un 20% de la masa de la lechuga en los primeros cinco días de almacenamiento y alcanzando pérdidas de hasta un 30% antes de los 10 días de almacenamiento. Estos resultados resaltan la importancia de un pronto enfriamiento y preparación de la lechuga para el mercado fresco, bajo condiciones de alta humedad relativa. Cabe destacar, que la humedad relativa dentro de los espacios refrigerados, fue 74% en el cuarto a 4°C, 86% en el de 10°C y 90% en el de 14°C, por las características de los equipos, pero en todos los casos, las pérdidas fueron muy altas para el producto sin empaquetar. Al usar bolsas abiertas, la protección de la bolsa contra pérdidas de humedad fue parcial, porque una parte del producto quedaba expuesta directamente al ambiente del cuarto frío y al flujo del aire, facilitando la salida del agua del producto hacia el ambiente. Sin embargo, parte de la lechuga quedaba protegida por el empaque, formando un microambiente de alta humedad relativa. Por otro lado, dado que la literatura señala que la pérdida de humedad máxima permisible, para que la lechuga mantenga su calidad comercial es del 5% (Ben-Yehoshua, 1987), los resultados muestran que esto se consigue fácilmente con producto en bolsas cerradas y con las bolsas abiertas, se podrían almacenar 4 o 5 días antes de llegar a esos 5%, lo cual se podría utilizar en sistemas con alta rotación de producto.

Al comparar las gráficas correspondientes a las lechugas con y sin raíz, se encontró que el corte o conservación de la raíz, no afectó significativamente los resultados de pérdida de masa. Si bien existen en el mercado algunos productos en forma de gel, para ayudar a mantener el producto fresco, los resultados de este ensayo muestran que no sería necesario para productos en bolsas cerradas. Para lechugas sin bolsa, las pérdidas de masa son muy rápidas, atribuidas al gran área de las hojas respecto al volumen del producto, por lo que debe minimizarse el tiempo en que se mantengan directamente expuestas a las condiciones ambientales.

Al comparar las gráficas correspondientes a las lechugas con y sin raíz, se encontró que el corte o conservación de la raíz, no afectó significativamente los resultados de pérdida de masa. Si bien existen

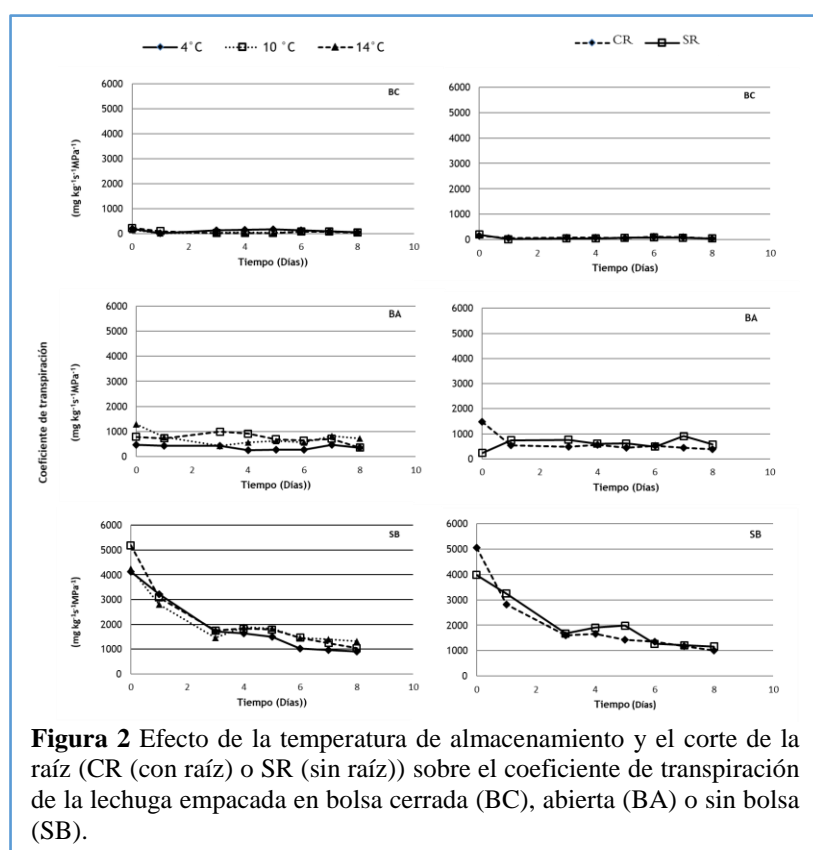
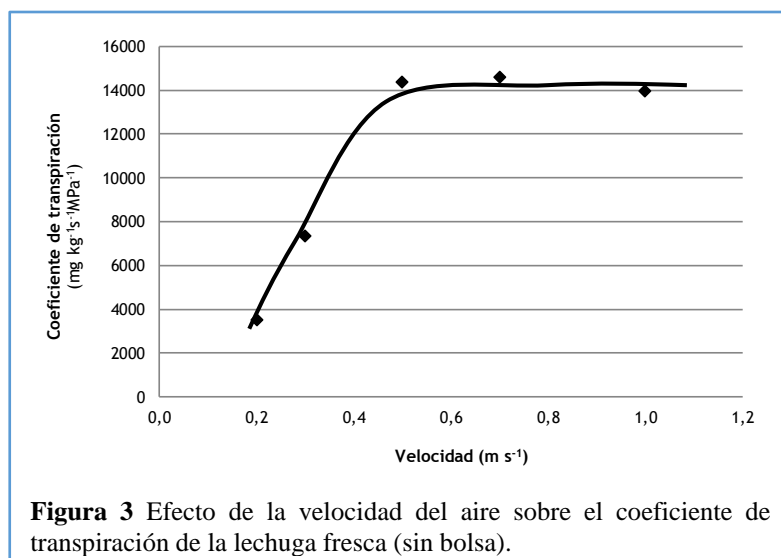


Figura 2 Efecto de la temperatura de almacenamiento y el corte de la raíz (CR (con raíz) o SR (sin raíz)) sobre el coeficiente de transpiración de la lechuga empacada en bolsa cerrada (BC), abierta (BA) o sin bolsa (SB).

en el mercado algunos productos en forma de gel, para ayudar a mantener el producto fresco, los resultados de este ensayo muestran que no sería necesario para productos en bolsas cerradas. Para lechugas sin bolsa, las pérdidas de masa son muy rápidas, atribuidas al gran área de las hojas respecto al volumen del producto, por lo que debe minimizarse el tiempo en que se mantengan directamente expuestas a las condiciones ambientales. La Figura 2 muestra los coeficientes de transpiración de la lechuga según la condición de envasado, la temperatura y el corte de la raíz. Estos coeficientes fueron afectados mayormente por la condición de empaque, siendo inferiores para las lechugas en bolsas cerradas (menores de 1000 mg kg⁻¹ s⁻¹ MPa⁻¹) intermedios para

las de bolsas abiertas (500 a $1500 \text{ mg kg}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ MPa}^{-1}$), y con poca variación a través del tiempo, en contraste con los coeficientes de las lechugas almacenadas sin bolsa, cuyos coeficientes fueron variables a lo largo del almacenamiento, con una tendencia decreciente durante los primeros días de almacenamiento; bajaron de niveles de $3,200$ ó $4500 \text{ mg kg}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ MPa}^{-1}$ al inicio del almacenamiento, a valores entre 500 y $2000 \text{ mg kg}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ MPa}^{-1}$ en los siguientes días. Estos valores coinciden con el ámbito de valores reportados en la literatura por Sastry y Buffington (1983), que va de 680 a $8750 \text{ mg kg}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ MPa}^{-1}$. Generalmente el coeficiente de transpiración se reporta como un valor constante, pero los resultados de este estudio muestran que estos coeficientes dependen de las condiciones de empaque (HR), pero además, pueden variar a lo largo del almacenamiento para condiciones de pérdidas de humedad altas. En este caso, para las lechugas sin bolsa, los cambios en el coeficiente de transpiración se atribuyeron a que durante los primeros tres días de almacenamiento, la lechuga perdió cerca del 15% de su peso, lo cual no solo redujo la turgencia del producto, sino que se apreciaba encogimiento de las hojas externas y cambio de color. Estos cambios posiblemente dificultaron la salida de agua desde los tejidos internos de la lechuga hacia el exterior, ya sea por reducción de medidas de las vías de circulación del agua, por obstrucciones, o porque las capas externas que pierden humedad más rápidamente, pueden luego ser barreras para el paso del vapor de agua desde la parte interna de la lechuga.

Por otro lado, la remoción de la raíz tampoco no tuvo efecto significativo sobre el coeficiente de transpiración ($p < 0,05$), lo cual era de esperar, por no haber mostrado diferencias en la pérdida de humedad de la lechuga; así como la dependencia a través del tiempo de dicho coeficiente para el producto almacenado sin bolsa.



La velocidad del aire mostró un efecto significativo en la pérdida de masa, al aumentar la velocidad del aire de $0,2$ a $0,7 \text{ m s}^{-1}$; sin embargo, al aumentar de $0,7$ a $1,0 \text{ m s}^{-1}$, no se encontraron diferencias significativas. El coeficiente de transpiración mostró un comportamiento creciente al aumentar la velocidad del aire de $0,20$ a $0,50 \text{ m s}^{-1}$, alcanzando un valor máximo del orden de $14000 \text{ mg kg}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ MPa}^{-1}$ (Figura 3), lo cual evidencia la necesidad de proteger las lechugas contra corrientes de aire dentro y fuera de los cuartos de almacenamiento. Este valor del

coeficiente, sobrepasa el máximo reportado por Sastry y Buffington (1983), lo cual se atribuye a las altas velocidades del aire a que fue sometida la lechuga.

Los coeficientes de transpiración encontrados para velocidades de $0,20 \text{ m s}^{-1}$ son similares a los observados para la lechuga sin bolsa durante el almacenamiento en los cuartos fríos. Cabe destacar que estas pruebas se realizaron durante 120 minutos, tiempo para el cual, las curvas de pérdida de humedad alcanzaron niveles máximos del 12%, por lo que es de esperar, que si se prolonga el tiempo de exposición de la lechuga a esas velocidades del aire, las pérdidas de humedad aumentarían considerablemente y con ello los coeficientes de transpiración, a medida que las capas externas de la lechuga se deshidratan y su estructura física se modifica.

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.
- Ben-Yehoshuas, S, Rodov, V. 2003, Transpiration and Water Stress, In Bartz, J., Brecht, J.K. (eds.), *Postharvest Physiology and Pathology of Vegetables*. New York: Marcel Decker Inc.p. 111-149.
- Cerdas-Araya, M.M., Montero-Calderón, M. 2004. Apio y Lechuga para el mercado fresco. *Guías Técnicas del Manejo FITTACORI-Ministerio de Agricultura y Ganadería*. San José, Costa Rica.
- Hellickson, M.A., Driggers, L.B., Muehling, A.J. 1983. *Ventilation of Agricultural Structures*. American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph, MI.
- Kader, A. 2011. *Tecnología Poscosecha de Productos Hortofrutícolas*. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources. Davis, California, U.S.A.
- 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* 80 (1): 9–17.
- Romero, R 1987. *Transpiration from fruits and vegetables in storage*. Ph. Doctorate Thesis. 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.
- Tano, K., Kamenan, A., Arul, J. 2005. Respiration and Transpiration Characteristics of Selected Fresh Fruits and Vegetables. *Agronomie Africane* 17(2): 103-115.
- Xanthopoulos, G.T., Athanasiou, A.A., Lentzou, D.I., Boudouvis, A.G., Lambrino, G.P. 2014. Modeling of Transpiration Rate of Grape Tomatoes. Semi-empirical and Analytical Approach. *Biosystems Engineering Magazine* 124(1): 16–23.
- 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 and Emerging Technologies* 14(1): (70–76).