

Ácido giberélico y cera de carnauba prolongan la calidad del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) durante el almacenamiento

Gibberellic acid and carnauba wax extend the quality of the persian lemon (*Citrus Latifolia* Tanaka) during storage

Rolando I. Corella C. Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Departamento de Produção Vegetal. rolandoicorella@usp.br <https://orcid.org/0000-0003-0122-0358>

Ana C. de Figueiredo. Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Departamento de Agroindústria, Alimentos y Nutrición.

Rafael G. Arrieta. Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Departamento de Fitotecnia.

Angelo P. Jacomino. Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Departamento de Produção Vegetal.

RESUMEN

La calidad del limón persa en los mercados es afectada en gran medida por la reducción de la turgencia, del peso y de la la coloración verde durante el transporte y el almacenamiento. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del tratamiento con ácido giberélico y cera de carnauba en frutos de limón persa en dos estados de madurez fisiológica, identificados según la coloración, a 25 ± 2 °C e 85 ± 2 % de humedad relativa, durante 21 días. Los tratamientos establecidos fueron: E2 (frutos no tratados del estado de madurez 2), - E3 (frutos no tratados del estado de madurez 3), E2:AG+C - (frutos tratados del estado de madurez 2), E3:AG+C (frutos tratados del estado de madurez 3). Los tratamientos fueron evaluados en cuanto a la pérdida de masa fresca, pérdida de color verde, actividad respiratoria y producción de etileno. Los resultados mostraron que el tratamiento aplicado ayudó a conservar por más tiempo la coloración verde en los frutos, a reducir la actividad respiratoria, la producción de etileno y la pérdida de masa fresca. El uso de ácido giberélico y cera de carnauba en frutos de limón persa ayuda en la conservación de atributos de calidad importantes, así como también el realizar la cosecha y el beneficiado en el punto óptimo de madurez.

PALABRAS CLAVE: *Citrus latifolia* Tanaka, limón persa, ácido giberélico, cítricos

ABSTRACT

Persian lemon quality in the markets is greatly affected by reducing the turgor of the weight and green coloring during transport and storage. This work's objective was to evaluate the effect of treatment with gibberellic acid and carnauba wax on Persian lemon fruits in two physiological maturity stages, identified according to the coloration, at 25 ± 2 °C and 85 ± 2 % of relative humidity, during 21 days. The treatments were: E2 (untreated fruits of maturity stage 2), - E3 (untreated fruits of maturity stage 3), E2: AG+C - (treated fruits of maturity stage 2), E3: AG+C (treated fruits of maturity stage 3). The treatments were evaluated in terms of loss of fresh mass, loss of green color, respiratory activity, and ethylene production. The results showed that the treatment applied helped preserve the fruits' green color for a more extended period, reducing respiratory activity, ethylene production, and fresh mass loss. The use of gibberellic acid and carnauba wax in Persian lemon fruits conserves critical quality attributes and harvesting and processing at optimal maturity.

KEYWORDS: *Citrus latifolia* Tanaka, persian lime, gibberellic acid, citrus

INTRODUCCIÓN

El cultivo de cítricos es una actividad de gran importancia a nivel mundial. En la dieta humana los cítricos juegan un papel fundamental, debido a sus propiedades nutricionales, como fuente preferida para el consumo de vitamina C, usos gastronómicos, cosméticos, etcétera. Entre las frutas cítricas, una de las preferidas en el mundo entero es el limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka). Llamado de diferentes formas: limón persa en países de habla hispana, lima ácida 'tahiti' en Brasil, *persian lime*, *bearss lime*, *acid lime* y *tahiti lime*, en otras latitudes.

El limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) pertenece botánicamente al grupo de las limas debido a sus características anatómicas. Su forma es redonda, obovada u oblonga, plana en la parte basal con una pequeña punta en el área apical del fruto, cáscara gruesa, de color verde a amarillo, lisa, de pulpa carnosa verde-amarillo y muy jugosa (Ladaniya, 2008).

La producción mundial de limas y limones en el 2018 fue de 19 368 838 toneladas, en un área total de 1 267 401 hectáreas. Los mayores productores en el mundo son India, México, China Continental, Argentina, Brasil, España, Turquía, Estados Unidos, Irán e Italia (FAOSTAT, 2020). Brasil ocupa la quinta posición, siendo su producción total de 1 481 322 toneladas en un área total de 52 784 hectáreas, esto según cifras del 2018 (IBGE, 2020).

Holanda y Reino Unido se posicionaron como principales destinos de las exportaciones de limas y limones en 2019, abarcando más del 78% de las exportaciones (Comexstat, 2020). Los diferentes mercados de destino del limón persa presentan preferencias por atributos de calidad. Mattos Junior et al., (2005) mencionan la forma, turgidez, grado de madurez y coloración natural entre algunos de los más importantes.

Entre todos los atributos de calidad, la coloración verde se destaca, debido a que es clave en la apariencia del producto. Evitar o minimizar la pérdida de la coloración verde de los frutos desde su cosecha hasta llegar a los mercados es un factor clave para el éxito. Silva et al. (2008) indicaron que frutos de tono amarillo son poco aceptados, teniendo mayor aceptación los frutos de coloración verde a verde intensa en los mercados internacionales.

La disminución de la coloración verde en los frutos se origina por diferentes factores que desencadenan reacciones de degradación de la clorofila, como cambios en el pH, activación de la enzima clorofilasa y la presencia de sistemas oxidantes (Chitarra & Chitarra, 2005).

El presente estudio propone estudiar el efecto que ejerce el tratamiento con ácido giberélico y cera de carnauba en frutos de limón persa de dos estados de madurez fisiológica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Frutos de limón Persa (*Citrus latifolia* Tanaka) fueron cosechados en una plantación comercial ubicada en el municipio de Mogi Mirim – Estado de São Paulo (coordenadas 22° 33' 00,97" S 47° 01' 15,09" O), clasificados por tamaño uniforme (50-60 mm de diámetro) y en dos estados de madurez fisiológica, siendo el estado 2 para frutos verde oliva, y estado 3 para frutos verde claro; después fueron llevados a la planta de beneficiado de la empresa Citrus Tree en la misma propiedad. Los frutos entraron a la línea de beneficiado pasando por todas las etapas (limpieza, secado, clasificación, desinfección con fungicida imazalil, aplicación de ácido giberélico y aplicación de cera de carnauba).

El tratamiento estudiado consistió en la aplicación de ácido giberélico (0,1 g L⁻¹ de Progib, 40% GA₃) y de cera de carnauba. Después que los frutos recibieron el tratamiento, fueron transportados por aproximadamente 100 km en cajas de cartón al laboratorio de postcosecha de plantas hortícolas de la Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ) en el municipio de Piracicaba, São Paulo, Brasil.

Al llegar al área experimental se procedió a dejarlos en reposo por 24 horas, ya que pasado este tiempo es más viable poder identificar posibles disturbios fisiológicos ocasionados por el manejo y transporte, antes de establecer el estudio. Transcurridas las 24 horas de reposo se realizó una segunda selección de los frutos, descartando todos aquellos que mostraron disturbios fisiológicos como la oleocelosis, pudrición apical o peduncular, ausencia de cáliz, entre otros. Considerando el tratamiento con ácido giberélico (**AG**), con Cera (**C**) en frutos de los estados de madurez 2 y 3 (**E2** y **E3**), se establecieron cinco tratamientos con cinco repeticiones, los tratamientos fueron los siguientes: - E2 (frutos no tratados del estado de madurez 2), - E3 (frutos no tratados del estado de madurez 3), - E2:AG+C - (frutos tratados del estado de madurez 2), - E3: :AG+C (frutos tratados del estado de madurez 3); bajo este esquema los tratamientos E2 y E3 funcionaron como testigos. El experimento fue establecido dentro de una cámara bajo condiciones controladas, a una temperatura de 25 ± 2 °C y con humedad relativa de 85 ± 2 %, los frutos de cada tratamiento fueron conservados en bandejas de plástico blanco ubicadas en estantes de 3 niveles, en donde permanecieron durante todo el experimento.

Las variables analizadas fueron: pérdida de masa fresca, pérdida de color verde, actividad respiratoria y producción de etileno. La pérdida de masa en porcentaje (PM) fue medida los días 0, 3, 6, 9, 13, 16 y 21; para esto se tomó el peso inicial en gramos de los frutos (P_i) y el peso en gramos de cada día de evaluación (P_e), calculándose mediante la fórmula $PM = (P_i - P_e)(100) / P_i$. La pérdida de color verde fue evaluada en los días 0, 3, 6, 9, 13, 16 y 21, utilizando un colorímetro marca Minolta, modelo CR300; obteniendo los parámetros luminosidad, (a^*) y (b^*), ángulo hue y el índice de color. En la evaluación de coloración se consideró el ángulo hue ($^{\circ}$ Hue) que mide la coloración en una escala de 0° a 360° , en la que 90° corresponde al amarillo y 180° al verde. La actividad respiratoria y la producción de etileno se evaluaron los días 0, 4, 8, 12, 16 y 21, colocando los frutos por una hora dentro de frascos de vidrio, cerrados herméticamente, con un septo adaptado a la tapa, por medio del cual se tomaron muestras del aire interno con una jeringa, y seguidamente analizándolas mediante un cromatógrafo a gas marca Thermo Science, modelo Trace GC 2000.

Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con esquema factorial 2×2 , siendo 2 estados de madurez fisiológica \times 2 tratamientos (tratados y no tratados); y los resultados fueron sometidos a análisis de varianza y análisis de comparación de medias de Tukey utilizando el programa SISVAR.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El tratamiento de ácido giberélico ($0,1 \text{ g L}^{-1}$ de Progib, $40\% \text{ GA}_3$) y cera de carnauba aplicado fue beneficioso para mantener la coloración verde en frutos de ambos estados de madurez fisiológica; siendo comprobado con el ángulo hue ($180 = \text{verde}$, $90 = \text{amarillo}$). En frutos no tratados del estado de madurez 2 la coloración verde se mantuvo en mayor medida que en los frutos no tratados del estado de madurez 3 (figura 1 y 2). La coloración verde fue conservada debido a que ácido giberélico ejerce acción sobre la enzima clorofilasa, responsable por la degradación de la clorofila (Acioly, 2018; Aquino et al., 2016; Biasi & Flávio, 2000).

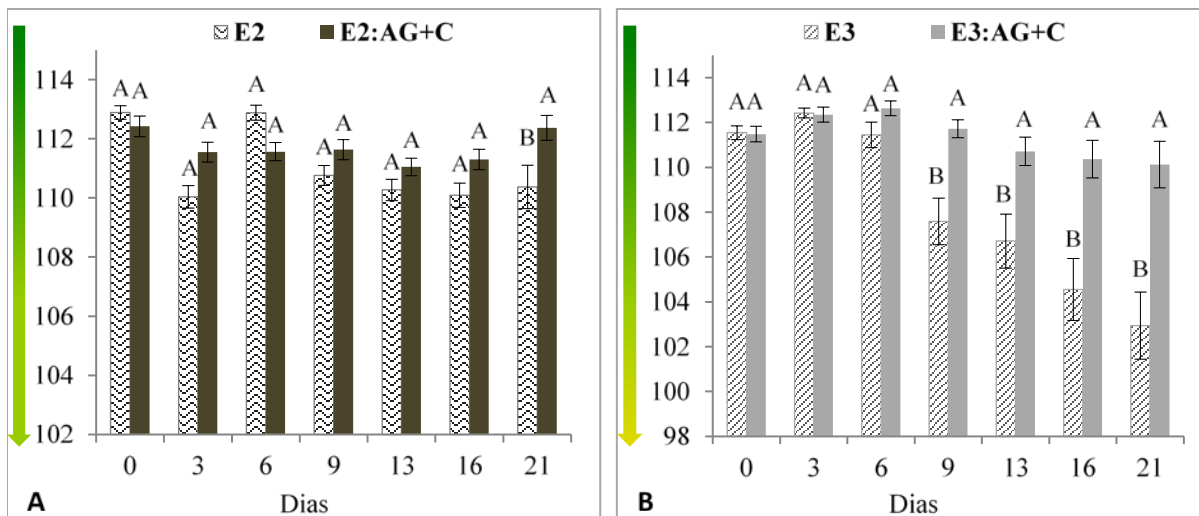


Figura 1. Pérdida de la coloración verde medida según en ángulo HUE de frutos de dos estados de madurez fisiológica, tratados y no tratados con ácido giberélico, almacenados por 21 días a 25 ± 2 °C e $85\pm 2\%$ de Humedad Relativa. -E2 (frutos no tratados del estado de madurez 2), - E3 (frutos no tratados del estado de madurez 3), - E2: AG+C (frutos tratados del estado de madurez 2), - E3: AG+C (frutos tratados del estado de madurez 3). Diferencia mínima significativa (DMS) = 1,99. Medias con la misma letra no difieren entre sí según la prueba de Tukey al 5%.

La actividad de la enzima clorofilasa en el flavedo de frutos cítricos aumenta durante la maduración, a medida que los cloroplastos son reducidos en número y tamaño, simultáneamente se da la síntesis de carotenoides. Estos cambios obedecen a la señalización ocasionada por el etileno endógeno de los frutos (Ladaniya, 2008). Algunos reguladores de crecimiento como el ácido giberélico activan los llamados “factores juveniles” (Chitarra & Chitarra, 2005), con acción antagónica a los procesos de maduración y senescencia. En la especie *Hedera helix* el uso de giberelinas ocasiona la reversión del estado maduro a estado juvenil (Bhatla & A. Lal, 2018).

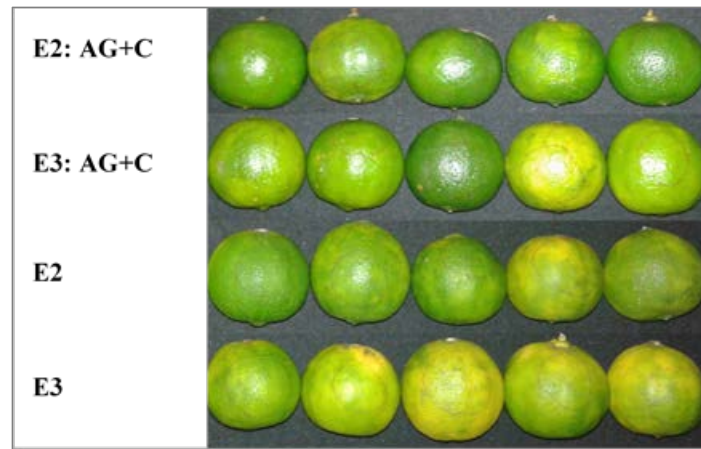


Figura 2. Pérdida de la coloración verde de frutos de dos estados de madurez fisiológica (día 21), tratados y no tratados con ácido giberélico, almacenados por 21 días a 25 ± 2 °C e $85\pm 2\%$ de Humedad Relativa. -E2 (frutos no tratados del estado de madurez 2), - E3 (frutos no tratados del estado de madurez 3), - E2: AG+C (frutos tratados del estado de madurez 2), - E3: AG+C (frutos tratados del estado de madurez 3)

Producción de etileno

Se observó que los tratamientos del estado de madurez 2 mantuvieron una producción de etileno mayor que los del estado de madurez 3, independientemente del tratamiento con cera y ácido giberélico aplicado (figura 3). Esto puede deberse a que los frutos de estos dos tratamientos fueron cosechados en un estado de desarrollo más joven. Ladaniya (2008) reportó que frutos jóvenes pueden producir mayores cantidades de etileno.

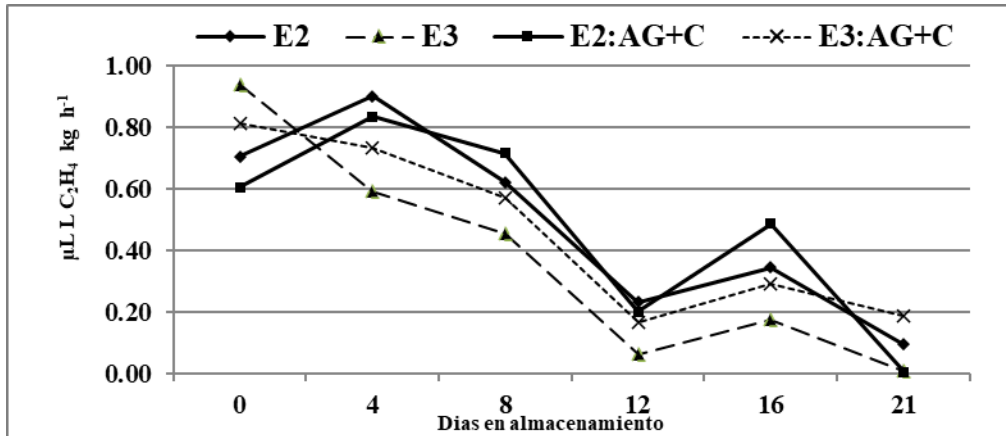


Figura 3. Producción de etileno en frutos de dos estados de madurez fisiológica, tratados y no tratados con ácido giberélico, almacenados por 21 días a 25 ± 2 °C e $85\pm 2\%$ de Humedad Relativa. -E2 (frutos no tratados del estado de madurez 2), -E3 (frutos no tratados del estado de madurez 3), -E2: AG+C (frutos tratados del estado de madurez 2), -E3: AG+C (frutos tratados del estado de madurez 3).

Pérdida de masa fresca

La pérdida de masa fresca fue menor en los frutos del estado de madurez 2, y en los tratados con ácido giberélico más cera; y mayor en los frutos del estado de madurez 3 no tratados (figura 4). Los resultados observados son semejantes a lo reportado por (Acioly, 2018; Pereira et al., 2014), quienes indicaron que la utilización de recubrimientos en frutos ayuda a extender su vida útil.

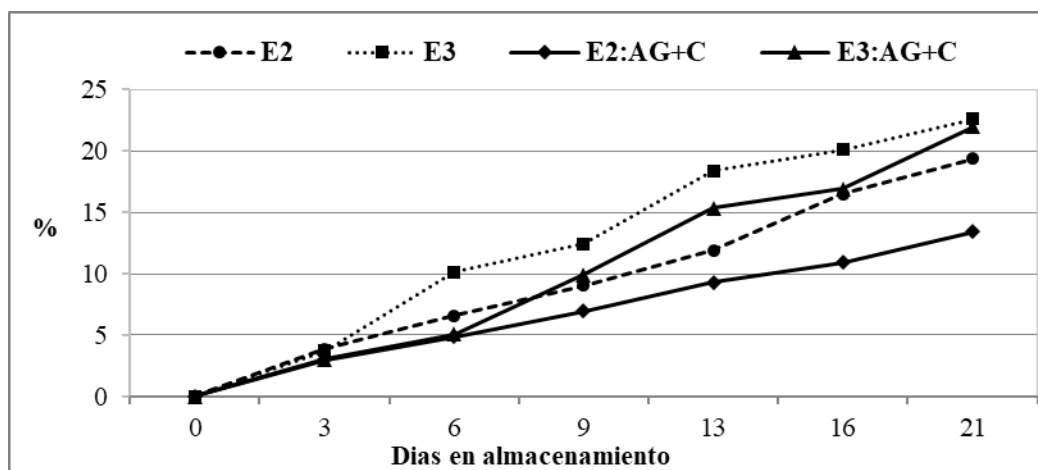


Figura 4. Pérdida de masa fresca en frutos de dos estados de madurez fisiológica, tratados y no tratados con ácido giberélico, almacenados por 21 días a 25 ± 2 °C e $85\pm 2\%$ de Humedad Relativa. -E2 (frutos no tratados del estado de madurez 2), -E3 (frutos no tratados del estado de madurez 3), -E2: AG+C (frutos tratados del estado de madurez 2), -E3: AG+C (frutos tratados del estado de madurez 3).

La pérdida de masa fresca que ocurre en las frutas cítricas se da debido a la transpiración que ocurre a través de los estomas de la epidermis en la cáscara de los frutos, siendo de cuatro a seis veces mayor en la región del cáliz del futo (Ladaniya, 2008), en este sentido el recubrimiento de cera de carnauba benefició la conservación del peso y la turgencia de los frutos, como dos atributos de calidad importantes en los mercados.

Otro factor de beneficio para la conservación de la turgencia y peso de los frutos tratados con ácido giberélico y cera, fue posiblemente la humedad relativa utilizada durante el experimento (85%). Lo anterior cobra importancia considerando que los vegetales en almacenamiento exigen humedades relativas entre 85 a 95%, como afirma (Chitarra & Chitarra, 2005).

Actividad respiratoria

Los resultados obtenidos muestran que la actividad respiratoria se mantuvo en una tasa menor en los frutos tratados con ácido giberélico y cera (figura 5). Esto posiblemente se debió a que el recubrimiento con cera de carnauba probablemente funcionó como una barrera que disminuyó la difusión del oxígeno atmosférico a través de los estomas en la epidermis hacia dentro de los frutos. El oxígeno disponible es un factor clave que afecta la respiración en frutos (Sampaio, 2010).

Otro factor que influye en la disminución de la respiración en frutos es la aplicación del ácido giberélico, puesto que este disminuye la actividad respiratoria, como lo confirman Bhatla & Lal, (2018).

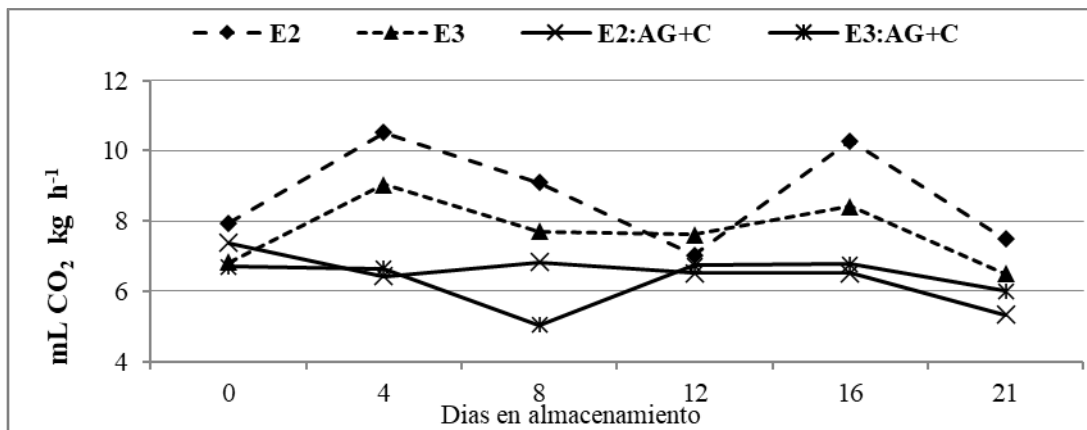


Figura 5. Actividad respiratoria en mililitros de CO₂ por kilogramos por hora en frutos de dos estados de madurez fisiológica, tratados y no tratados con ácido giberélico, almacenados por 21 días a 25±2 °C e 85±2% de Humedad Relativa. -E2 (frutos no tratados del estado de madurez 2), - E3 (frutos no tratados del estado de madurez 3), - E2: AG+C (frutos tratados del estado de madurez 2), - E3: AG+C (frutos tratados del estado de madurez 3).

La actividad respiratoria se mantuvo relativamente en una tendencia constante a lo largo de todo el periodo de almacenamiento; este comportamiento es clásico en frutos no climatéricos como los cítricos, los cuales no exhiben una alta tasa de producción de etileno, seguida del incremento en la tasa respiratoria, como en los frutos climatéricos.

Durante el proceso respiratorio ocurren reacciones de degradación de sustratos como almidón y azúcares como la sacarosa, glucosa, fructosa (Lopes & De Souza L., 2015). Una disminución en la respiración de los frutos contribuye a una menor pérdida de sustratos, lo cual se traduce en la conservación de la calidad de los frutos tratados con ácido giberélico y cera.

CONCLUSIÓN

El tratamiento con ácido giberélico en la dosis de 0,1 g L⁻¹ (Progib, 40% GA₃) asociado a el uso de cera de carnauba ayuda en la conservación de atributos de calidad importantes en frutos de limón persa, siendo más eficiente cuando es aplicado en frutos en estados iniciales de madurez fisiológica, identificados por la coloración verde oliva.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acioly, T. M. da S. (2018). Estudo dos pontos críticos na cadeia de beneficiamento e seus efeitos na qualidade e conservação de lima ácida “Tahiti”. [Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - Universidade de São Paulo]. <https://doi.org/10.11606/D.11.2018.tde-17072018-143606>
- Aquino, C. F., Salomão, L. C. C., & Azevedo, A. M. (2016). Qualidade pós-colheita de banana “Maçã” tratada com ácido giberélico avaliada por redes neurais artificiais. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 51(7), 824–833. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000700005>
- Bhatla, S. C., & A. Lal, M. (2018). *Plant Physiology, Development and Metabolism*. In Springer (Org.), *Plant Physiology, Development and Metabolism*. Springer Nature Singapore Pte Ltd. https://doi.org/10.1007/978-981-13-2023-1_32
- Biasi, L. A., & Flávio, Z. (2000). Gibberelic Acid Alone or Associated With Wax in the Post-Harvest of “Tahiti” Lime. *Scientia Agraria*, 1(1–2), 39–44.
- Chitarra, M. I. F., & Chitarra, A. B. (2005). *Pós-colheita de frutas e hortaliças fisiologia e manuseio*. (A. B. Chitarra (org.); Editora UF). Lavras UFLA.
- Comexstat. (2020). *Comex Stat - Exportação e Importação Geral*. <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/geral>
- FAOSTAT. (2020). *Agricultural Statistics Database (FAOSTAT)*. Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize>
- IBGE. (2020). *Brasil em Síntese. Produção Agrícola - Lavoura Permanente*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/15/11863>

- Ladaniya, M. S. (2008). Citrus fruit biology, technology and evaluation. In Academic Press (Org.), Citrus Fruit (Elsevier, p. 576). <https://doi.org/10.1016/B978-012374130-1.50011-5>
- Lopes, N. F., & De Souza L., M. D. G. (2015). Fisiologia da Produção. (UFV (org.); Ed. UFV). 2015. <https://www.editoraufv.com.br/produto/fisiologia-da-producao/1112524>
- Mattos Junior, D., De Negri, J. D., Pio, R. M., & Pompeu, J. J. (2005). Citros. In FAPESP (Instituto, p. 929).
- Pereira, G. da S., Machado, F. L. de C., & Costa, J. M. C. da. (2014). Aplicação de recobrimento prolonga a qualidade pós-colheita de laranja “Valência Delta” durante armazenamento ambiente. Revista Ciência Agronômica, 45(3), 520–527. <https://doi.org/10.1590/s1806-66902014000300012>
- Sampaio, E. (2010). Fisiologia vegetal teoria e experimentos. Editora UEPG.
- Silva, P. R., De Almeida, G., Ferráz, M., & Olivette, M. (2008). O Mercado da lima ácida “Tahiti”. Instituto de Economia Agrícola, 3, 7. <http://www.iea.sp.gov.br/ftp/iea/AIA/AIA-73-2008.pdf>