Analíticos

Asociación por la Investigación en Educación Secundaria
© 2024 Revista Analíticos
ISSN 2695-6969

2024, No. 6, pp. 97-104
https://ainves.org/an6202497104

Efecto del *dipping* con ácido cítrico, ácido ascórbico y EDTA en la tasa de respiración de la piña [1] [2]

Effect of *dipping* with citric acid, ascorbic acid and EDTA on pineapple respiration rate

Aintzane Mauleón Colomo Nadia Rastrollo García

Estudiantes, IES Plaza de la Cruz, Pamplona, Navarra

El estilo de vida actual demanda cada vez más la comercialización de alimentos de cuarta gama, frutas y verduras mínimamente procesadas. El estudio compara la tasa de respiración de la piña, *Ananas Comosus*, pelada, cortada, envasada y conservada a dos temperaturas, 5ºC y 20ºC, con diferentes tratamientos por sumergimiento, *dipping*: ácido cítrico, ácido ascórbico, EDTA, y una muestra sin tratar o control. Además, se estudia el efecto de estos *dippings* a temperatura de refrigeración en la conservación de sus características físico-químicas. Aunque se observan ligeras diferencias en la evolución de los gases según el ácido utilizado en los *dippings*, tras el análisis de los datos en este estudio no se han encontrado diferencias significativas en las tasas de respiración que permitan afirmar si el *dipping* con distintos ácidos tienen un efecto en la respiración de la piña cortada y envasada. Sí se ha observado un posible efecto de estos *dippings* en la conservación de las características fisico-químicas. El EDTA y el ácido cítrico podrían tener un efecto en la cantidad de sólido soluble y acidez total respectivamente, contribuyendo a su conservación y mejorando su sabor y textura.

Palabras clave: tasa de respiración, piña, atmósfera modificada, *dipping*, coeficiente respiratorio.

Today's lifestyle increasingly demands the marketing of convenience foods, minimally processed fruits and vegetables. The study compares the respiration rate of pineapple, *Ananas Comosus*, peeled, cut, packaged and preserved at two temperatures, 5ºC and 20ºC, with different *dipping* treatments: citric acid, ascorbic acid, EDTA, and an untreated sample, control. The effect of these *dippings* at refrigeration temperature on the preservation of their physico-chemical characteristics is also studied. Although slight differences are observed in the evolution of the gases according to the acid used in the *dippings*, after the analysis of the data in this study, no significant differences in the respiration rates have been found that allow us to state whether *dipping* with different acids has an effect on the respiration of the cut and packaged pineapple. Nevertheless, a possible effect of these *dippings* on the preservation of physicochemical characteristics has been observed. EDTA and citric acid could have an effect on the amount of soluble solids and total acidity respectively, contributing to their preservation and improving their taste and texture.

Keywords: respiration rate, pineapple, modified atmosphere, dipping, respiratory coefficient.

Justificación

Los alimentos de cuarta gama, mínimamente procesados, precortados o *fresh cut*, corresponden a frutas, vegetales y hortalizas limpias que han sido sometidas a un mínimo procesamiento, esencialmente lavado, troceado y envasado (Defilippi & Campos, 2006).

Este tipo de envasado en atmósfera modificada, MAP, mantiene las características físico-químicas, sensoriales y funcionales. Las frutas y verduras presentan mejor color, frescura, apariencia y sabor, llegando al consumidor con gran calidad. Asimismo, a la hora de optar por productos de este tipo el método más utilizado para su comercialización es partida en trozos y envasada, en especial, en alimentos que tienen una cáscara que no se consume como es el caso de la piña.

Sin embargo, las frutas con un procesamiento mínimo son elementos vivos que interaccionan con su entorno. La falta de desarrollo de nuevas técnicas de conservación produce grandes pérdidas pos-cosecha. Para obtener resultados de calidad es necesario conocer los efectos que su preparación pueda ejercer en este tipo de alimento, y sus implicaciones en la calidad final del mismo.

El estudio y desarrollo de tecnologías que mejoren la conservación de alimentos contribuye a los objetivos de producción y consumo responsable y hambre cero de los objetivos de desarrollo sostenible aprobados por la ONU en la Agenda 2030, adoptando medidas para asegurar el buen funcionamiento de los mercados de productos bá-

[1] Este proyecto fue realizado en colaboración con el Departamento de Agronomía biotecnología y alimentación, área de Tecnología de alimentos, de la Universidad Pública de Navarra, bajo la dirección de la Dra. Carmen Barba González-Albo.

[2] Esta investigación fue seleccionada por el Comité Científico de URANIA, el Congreso de Investigación Joven de Navarra, para participar mediante una ponencia en la cuarta edición del certamen, que tuvo lugar en Tudela, Navarra, los días 10, 11 y 12 de julio de 2024.

sicos alimentarios y sus derivados, y reduciendo el desperdicio de alimentos.

Objeto de estudio

Piñas *'Ananas Comosus'* puras y tratadas por *dippings* o sumergimiento con ácido cítrico, ácido ascórbico y ácido etilendiaminotetraacético, EDTA.

Las piñas son sometidas a su respectivo *dipping* o se conservan sin tratamiento, con dos cortes verticales por la mitad obteniendo cuatro piezas que son conservadas durante 8 días en un recipiente herméticamente cerrado y preservadas a dos temperaturas, la temperatura de refrigeración a 5ºC y la ambiente a 20ºC. Diariamente se hacen dos mediciones de CO2 y O2 para obtener la evolución de gases y así calcular la tasa de respiración y el coeficiente respiratorio.

Otras dos piñas, son cortadas en cuatro piezas y se someten o no a sus respectivos ácidos. Una piña es preservada durante cuatro días a una refrigeración de 5ºC y la otra se emplea en el instante en el que se realiza la preparación previa. A estas muestras se les analizan las características físico-químicas del pH, sólidos solubles, acidez total, color, índice de madurez y pérdida de peso.

Antecedentes

El clima óptimo para el desarrollo de la piña se encuentra en zonas tropicales donde la temperatura varía entre 16-32 ºC, siendo indeseables las heladas, bajas temperaturas y exceso de radiación solar, por esta razón esta fruta procede de Brasil, Argentina y Paraguay. En la actualidad, los principales productores son países tropicales; entre los que destacan Brasil, Tailandia y Filipinas (Cámara Hurtado, 1992). Esta fruta tiene diferentes fases del desarrollo y maduración (Gortner et al., 1967; Cámara Hurtado, 1992):

- Desarrollo: final de la floración y comienzo de la maduración.
- Pre Maduración y maduración: diferenciación de tejidos y sintesis especifica de ciertas enzimas responsables de los cambios de color, textura y sabor. La maduración organoléptica transforma un producto fisiológicamente maduro a otro visual olfativo y gustativamente atractivo. La piña está compuesta de pequeñas frutas que maduran de forma progresiva desde la base hasta el ápice: no todas las partes de la fruta presentan el mismo estado de desarrollo (Gortner et al., 1967; Cámara Hurtado, 1992). Se caracteriza por disminución de pigmentos clorofílicos y aumento de carotenoides, disminución del pH del zumo y aumento de acidez, y aumento del contenido de azúcar, y del estrés volátiles, etc. (Gortner et al., 1967; Cámara Hurtado, 1992; Cheftel et al., 1992).
- Senescencia: cesan los procesos bioquímicos anabólicos o sintéticos y comienzan los catabólicos o degradativos, hasta la muerte tisular. Desorganización, ablandamiento y ruptura de tejidos, pardeamientos enzimáticos, y alteraciones en el aroma típico de la fruta. (Belitz & Grosch, 1988; Gortner et al., 1967; Wills et al., 1984).

Dado que la piña está compuesta de múltiples frutos, su composición química no es uniforme y depende de múltiples factores como variedad, estado de madurez, clima, cultivos, etc. La acidez de la piña se debe fundamentalmente a los ácidos cítricos y L-málico (Singleton, 1965) y en menor proporción, ya que no siempre están presentes; el ácido oxálico, ácido succínico y ácido malónico. Encontrándose valores de acidez total (expresado en ácido cítrico) entre 0,6-1,62%.

Las frutas y verduras se encuentran vivas al estar unidas a la planta y al separarse continúan vivas, y siguen respirando. La respiración es un proceso degradatorio que consiste en la oxidación de moléculas orgánicas complejas a moléculas más simples, formando CO2, H2O y liberando energía. Se puede conseguir esta energía con intervención de lípidos, carbohidratos o ácidos orgánicos (Fonseca et al., 2001). La respiración es expresada comúnmente en términos de la oxidación de la glucosa, resumida en la expresión 1 (Castelló, 2007):

$$C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 + 6\ HO_2 + 32\ ADP + P_i = 6\ CO_2 + 12\ H_2O + 36\ ATP$$

En la respiración celular ocurre la glucólisis, expresión 2, de la molécula de glucosa convirtiéndose en dos moléculas de ácido pirúvico formando ATP (Castelló, 2007).

$$C_6H_{12}O_6 + 2\ NAD + 2\ ADP + 2\ P_i = 2\ C_3H_4O_3 + 2\ NADH_2 + 2\ ATP$$

Si hay falta de oxígeno o hay alteraciones en el funcionamiento de la mitocondria se produce una fermentación porque el piruvato no es capaz de degradarse. En estos casos, puede desarrollarse la fermentación alcohólica donde la degradación del ácido pirúvico acaba en etanol y dióxido de carbono (expresión 3) o la fermentación láctica donde con la degradación de carbohidratos se obtiene ácido láctico (expresión 4) que puede resultar tóxico para el fruto. En estos procesos no se obtienen ATP, sólo la procedente de la glucólisis (2 ATP). La finalidad de estos procesos es que la glucólisis siga produciéndose regenerando NAD+ (Watada & Qi, 1999).

$$C_6H_{12}O_6 = C_2H_5OH + CO_2$$

$$C_3H_4O_3 = CH_3\text{-}CHOH\text{-}COOH$$

Con la presencia de O2, el ácido pirúvico entra a las mitocondrias y se va oxidando completamente hasta acabar en CO2. Esto ocurre en el interior de la matriz mitocondrial con el Ciclo de Krebs. En este proceso, el ácido pirúvico se oxida y descarboxila formándose un grupo acetilo que se une a la coenzima A para desarrollar el acetil CoA. La enzima (de 2 C) se combina con el oxalacetato (de 4 C) para producir citrato (de 6 C). En el Ciclo de Krebs, de los 6 C iniciales se oxidan a 2 moléculas de dióxido de carbono y se genera oxalacetato. Al realizar estos procesos se libera energía, parte de esta se emplea en convertir ADP en ATP, parte para transformar NAD+ a NADH2 y parte a reducir electrones FAD+ (Wills et al., 1984; Come & Carbineau, 2002).

En la última etapa, la molécula de glucosa está completamente oxidada, una parte de la energía desprendida de esta ha sido para producir ATP a partir de ADP y la gran mayoría permanece en los electrones de los átomos de C, que han pasado a transportadores de electrones NAD+ y

FAD+ y se encuentran en un alto nivel energético.

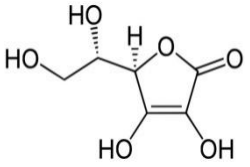
Todos los equivalentes de reducción originados en la glucólisis o en el ciclo de Krebs van a ser oxidados en la cadena mitocondrial de transporte de electrones mediante reacciones de oxidorreducción formando agua como producto final (Azcón Bieto & Talón, 2000; Barceló et al., 2001).

La respiración celular es un proceso biológico en el cual se producen intercambios de gases donde se consume O2 y se expulsa CO2, midiendo estos valores se obtiene la tasa de respiración de la fruta. De la relación de ambos gases se define un coeficiente respiratorio, CR, útil para indicar la presencia de respiración anaerobia y el tipo de sustrato; ya que, en términos generales, cuando el elemento oxidado es un carbohidrato, el valor de CR es cercano a la unidad, mientras que al ser un ácido graso el valor es menor a la unidad, y en ácidos orgánicos el valor mayor que 1. Ante valores mucho más altos de la unidad, la respiración es anaeróbica. (Ortolá Ortolá, 2020). Este CR es afectado por las condiciones de la atmósfera, que pueden provocar la aceleración de reacciones bioquímicas, enzimáticas y microbiológicas; influyendo directamente en el ser vivo. (Castelló, 2007).

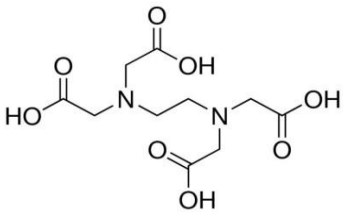
El *dipping* es un proceso de sumergimiento de la piña en un ácido. Los elegidos para ver su efecto en la piña son ácido cítrico, ácido ascórbico y ácido etilendiaminotetracético porque los tres son antioxidantes.

El ácido cítrico, ácido 2-hidroxi-1,2,3-propano-tricarboxílico, es un ácido orgánico que puede ser considerado natural, sin embargo, también puede ser sintetizado en laboratorios. Es considerado un ácido carboxílico versátil y ampliamente utilizado en el campo de la alimentación, de los productos farmacéuticos y cosméticos, entre otros. (Muñoz-Villa et al., 2014).

El ácido ascórbico, vitamina C o ácido l-ascórbico está presente naturalmente en frutas y verduras (Gutiérrez et al., 2006). Es una vitamina fuertemente reductora y agente antioxidante, hidrosoluble y esencial; que sintetiza la glucosa mediante reacciones químicas catalizadas por enzimas y en humanos queda concentrado en ojos, hígados, bazos, cerebros, etc. Su fórmula se muestra en la siguiente fórmula.



El ácido etilendiaminotetraacéticoes un antioxidante, no es tóxico y se puede emplear solo o con otros antioxidantes. El ácido, también llamado EDTA, es un sólido de color blanco y es un aminoácido tetracarboxílico con dos grupos aminos. Este ácido puede tener actividad antifúngica, desmineraliza dentina y normalmente se utiliza al aplicar en alimentación al 17%. Una característica del EDTA es que tiene poca o ninguna actividad bacteriana. Su fórmula es $C_{10}H_{16}N_2O_8$ y su fórmula estructural es la siguiente.



Objetivos e hipótesis

El objetivo principal es estudiar el efecto del tratamiento por inmersión o *dipping*, con ácido cítrico, ácido ascórbico y ácido etilendiaminotetraacético, EDTA, en la tasa de respiración y en el mantenimiento de las características físico-químicas de la piña.

- O1: Medición de la tasa de respiración de la piña.
  - O1.1: Efecto de los *dippings* en la evolución de los gases de CO2 y O2 a 5ºC y 20ºC.
    - H1.: Las diferencias en la evolución de los gases a 5ºC y a 20ºC serán menores en las muestras tratadas que en la muestra control.
    - H2.: Habrá diferencias significativas en la evolución de gases a 5ºC y a 20ºC en muestras tratadas.
  - O1.2: Efecto de los *dippings* en la tasa de respiración y coeficiente respiratorio a 5ºC.
    - H3.: Las muestras tratadas tendrán una menor TR y CR que la muestra control a 5ºC.
    - H4.: Habrá diferencias significativas en la TR y CR en las muestras con diferentes dippings a 5ºC.
  - O1.3: Efecto de los *dippings* en la tasa de respiración y coeficiente respiratorio a 20ºC.
    - H5.: Las muestras tratadas tendrán una menor TR y CR que la muestra control a 20ºC.
    - H6. Habrá diferencias significativas en la TR y CR en las muestras con los diferentes dippings a 20ºC.
- O2: Caracterización físico-química
  - O2.1: Efecto de los *dippings* en la conservación de las características físico – químicas.
    - H7.: Las muestras tratadas tendrán mejor conservación de características F-Q que la muestra control.
    - H8.: Habrá diferencias significativas en la conservación de características F-Q entre los *dippings*.

Metodología

Se realizan mediciones sobre tres muestras para la fiabilidad de los resultados, de cada uno de los *dippings* más el control a dos temperaturas.

Las piñas, *Ananas comosus*, empleadas se obtienen del mercado local y se mantienen a temperatura ambiente hasta el inicio de la preparación. Se quita la parte superior e inferior de la piña y se corta en cuartos. Los cortes

perpendiculares se realizaron secos y verticales para dañar cuanto menos los tejidos. El cuchillo se desinfecta con una solución de hipoclorito al 1%.

El peso se mide con una balanza y el volumen mediante desplazamiento volumétrico.

El ácido cítrico y el ácido ascórbico empleado se encuentran en estado sólido, mientras que el EDTA de manera líquida. Los tres se emplearon en una disolución con agua destilada. Se realiza el tratamiento con un reciente de cuatro litros, se calcularon los valores del soluto y disolvente para realizar una disolución con una concentración al 1% (1% p/V). Se preparan 40 gramos de cada uno de los ácidos, medidos en báscula y se depositan en vaso de precipitados y se disuelven en 3960 mililitros de agua destilada medida con una probeta. Se sumergen las muestras en cada disolución durante dos minutos.

Las piñas se caracterizarán en el día cero y día cuatro a 5ºC, tanto en las muestras tratadas como en las muestras control. Las variables a medir son: pH, color, acidez total, índice de madurez, sólidos solubles y pérdida de peso. Primero se realiza la medida de color, y la pérdida de peso con una balanza. Para medir los siguientes parámetros, las muestras se pelan con cuchillo estéril y se trituran con batidora.

El pH es una medida de acidez o alcalinidad con una escala del 0 al 14, el 7, expresa un pH neutro. Este nivel de pH es el ideal para la proliferación de la mayoría de microorganismos que crecen bien a un rango de pH de 4.5 a 9, y tienen óptimo crecimiento entre 6.5 y 7.5. La disminución del pH ayuda a la preservación de alimentos inhibiendo el crecimiento microbiano, y reduciendo la resistencia térmica microbiana en alimentos que serán posteriormente procesados por calor.

El pH se mide según método oficial de medida de pH para alimentos ácidos AOAC Official Methods 981.12.

La acidez total corresponde a la suma de todos los ácidos valorables presentes. Es el criterio principal que indica la frescura y composición de alimentos perecederos. Su medida se realiza según método oficial de medida de acidez titulable para frutas, AOAC Official Methods 942.15. De una pasta homogénea de 10 g de producto se llevan a 100 ml con agua desionizada para realizar la valoración con solución de NaOH 0.1 M hasta viraje del indicador fenolftaleína u obtener un pH de 8.1 ± 0.2.

La acidez total se expresa como porcentaje de ácido cítrico, según la ecuación 1 (AOAC Official Methods 942.15):

$$\%AC = ml\,de\,NaOH \times 0.1 \times 0.064 \times 100$$

Siendo NaOH (ml) el volumen de NaOH utilizado, 0.1 la molaridad de la NaOH y 0.064 los miliequivalentes del ácido cítrico.

Los sólidos solubles son la cantidad de azúcares disueltos en un líquido. La medición se realiza por el método oficial de medición de sólidos solubles (AOAC Official Methods 932.14C) en ºBrix con refractómetro a 20ºC.

Los ácidos solubles se miden depositando una gota de agua destilada que tiene un 0% de estos y una gota de las muestras de piña, obteniendo así un valor entre 0-32.

El espacio de color CIELEAB o espacio CIEL*a*b*, se usa para evaluar el color del área de alimentos. La tolerancia del color se define como la máxima diferencia de color admitida por los productos en relación al estándar que el consumidor considera ideal. Usando las coordenadas L*a*b*, se puede correlacionar las diferencias de color numéricas a sus propias evaluaciones visuales (Chirait Boix et al., 2007).

Para medir la tasa de respiración de las piñas en primer lugar se realiza la medición del volumen de la piña mediante desplazamiento volumétrico en recipientes de volumen 15000 mililitros.

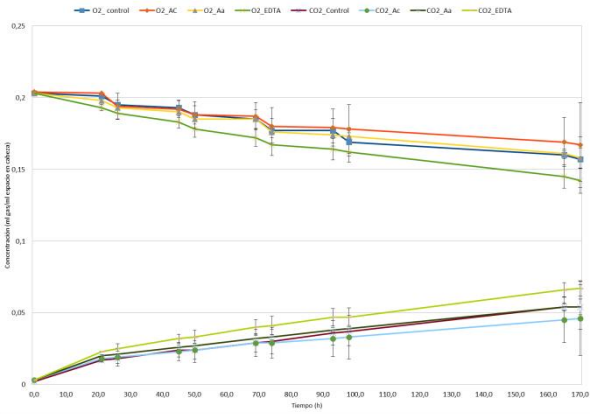
El sistema empleado para medir la tasa de respiración (TR) es el estático o cerrado, un recipiente cerrado herméticamente con aire ambiente como atmósfera inicial que no permite un intercambio de gases del exterior. Se miden directamente los cambios del O_2 y CO_2 que ocurren en el interior. La TR se determina colocando el producto en un tarro de vidrio de 3800 mililitros de volumen con *septum* para control de gases en el espacio de cabeza. Los botes se cierran herméticamente y se mantienen a las diferentes temperaturas del ensayo, en refrigerador a 5ºC y a temperatura constante de 20ºC.

Resultados

Tasa de respiración

Para la evolución de concentración de O2 y CO2 según *dippings* a 5ºC y 20ºC se calcularon los promedios y desviaciones típicas de las concentraciones de gases (ml de gas / ml de espacio en cabeza) medidos en las tres diferentes muestras de un mismo *dipping* en ambas temperaturas, a 5ºC (gráfico 1) y 20º, C (gráfico 2). Se muestran en un periodo de 170 horas a 5º C. Pero a 20ºC solo se pueden realizar mediciones hasta 100 horas, después la piña no tiene oxígeno que consumir e inicia un proceso de respiración anaeróbica y un deterioro notable.

Figura 1. Evolución a 5ºC del O2 y CO2 promedio según el *dipping*.

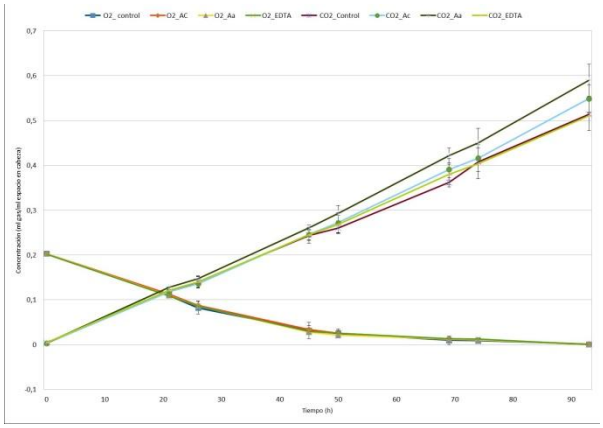


Fuente. Elaboración propia.

En el gráfico de la Figura 1 se observa como la muestra tratada con ácido cítrico es la que menos CO2 ha emitido y O2 consumido. El EDTA es el *dipping* cuya muestra emite más CO2 y consume O2. Podría ser que este tratamiento, en vez de ralentizar la respiración celular, la acelerará, produciendo mayor deterioro. El ácido ascórbico no tendría un efecto notable sobre la respiración, ya que la línea que representa la evolución de los gases es muy similar a la línea de valores control. Sin embargo, con estas gráficas no se puede confirmar que las diferencias sean

significativas, ya que las diferencias entre medias son menores a las desviaciones típicas obtenidas para cada promedio.

Figura 2. Evolución a 20ºC del O2 y CO2 promedio según el *dipping*.



Fuente. Elaboración propia.

En la gráfica 2 los resultados son más diversos, debido a una respiración más acelerada. En el O2 consumido los *dippings* no producen ningún efecto. Sin embargo, en el CO2 parece que los *dippings* a temperatura ambiente aceleran la respiración del producto y favorecen su deterioro. Con esta gráfica tampoco se puede confirmar que las diferencias entre tratamientos y el control, sean significativas, ya que, aunque se observan diferencias, estas son menores a las desviaciones típicas.

Cálculo de la tasa de respiración

Para calcular la tasa de respiración se realiza el ajuste lineal de la evolución de los gases con las concentraciones medidas en cada uno de los tarros. Las tablas 2 y 3 muestran la pendiente de la recta de regresión que se usa para el cálculo de la tasa de respiración, y su coeficiente de determinación, R2 que es próximo a uno en todos los casos, indicando un buen ajuste. Los datos del tarro control 3 se descartan, ya que los resultados indican que el recipiente no se conservó herméticamente cerrado, permitiendo el intercambio de gases.

Como se ve en las gráficas 3 y 4, las muestras a 5ºC con Ácido cítrico parecen presentar un valor más bajo para las TR, mientras que las muestras con *dipping* EDTA parecen tener un valor mayor que la muestra control, sería el menos adecuado para la conservación de la piña, pero las diferencias en las medias son menores que las barras de error (desviaciones típicas), por lo que no se aprecian diferencias significativas.

En el gráfico 5 y 6, de muestras a 20ºC, no se observan prácticamente diferencias.

Para saber si hay diferencias significativas en las medias de la TR del CO2 y O2, así como el CR obtenido para los diferentes *dippings* y el control, se realiza un test de ANOVA de un factor, *dipping*, a dos temperaturas diferentes. En ninguno de los casos se puede concluir que las diferencias sean significativas (con un nivel de significación del 95%).

Figura 3. Medias de la TR del CO2 a 5ºC.

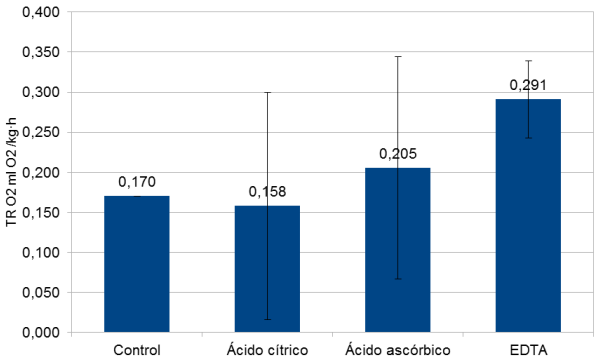


Figura 4. Medias de la TR del O2 a 5ºC.

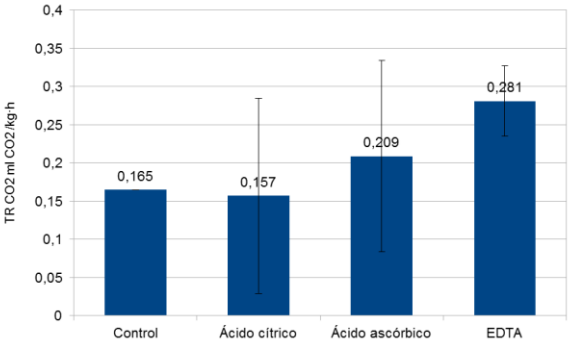


Figura 5. Datos medios de la TR del CO2 a 20ºC.

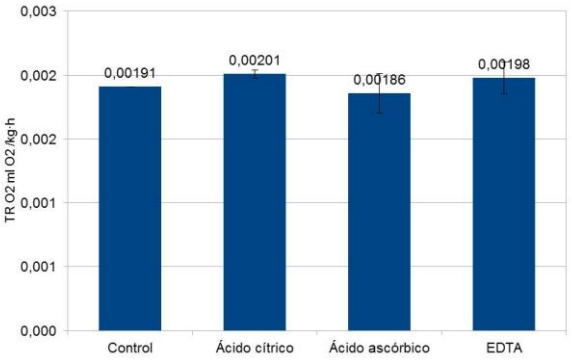
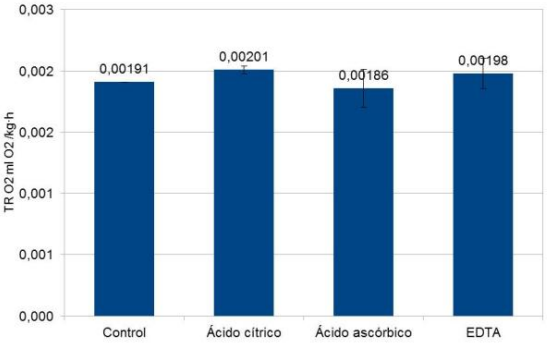


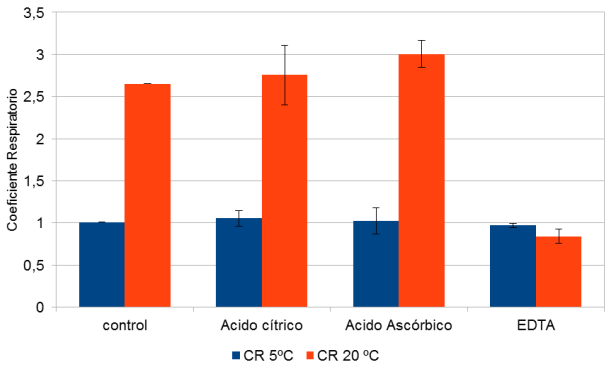
Figura 6. Datos medios de la TR del O2 a 20ºC.



Fuente. Elaboración propia.

Los CR, gráfico 7, a 5ºC están alrededor de 1, indicando que la respiración realizada es aún aerobia, por lo tanto, el deterioro es menor que en los valores a 20ºC donde la respiración es anaeróbica, por lo que la piña está ya en deterioro por falta de oxígeno.

Figura 7. Coeficiente Respiratorio a 5ºC y 20ºC.



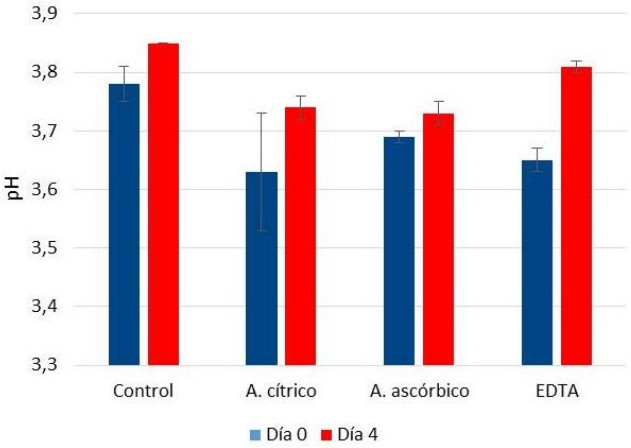
Fuente. Elaboración propia.

Características físico-químicas.

Las mediciones de las características físico-químicas se tomaron de piñas tratadas con los tres *dippings* y las de control, a día cero y a día cuatro.

El gráfico 8 muestra los datos obtenidos en las mediciones de pH de los diferentes *dipping* a 0 horas y a 74 horas. Entre las piñas de 0 horas y las de 4 días hay una variación de pH, mayor en las de 4 días, debido a que los ácidos se han degradado y han provocado un aumento de pH.

Figura 8. Valores medios del pH a 5ºC de los diferentes *dipping* a tiempo 0 y a 4 días.



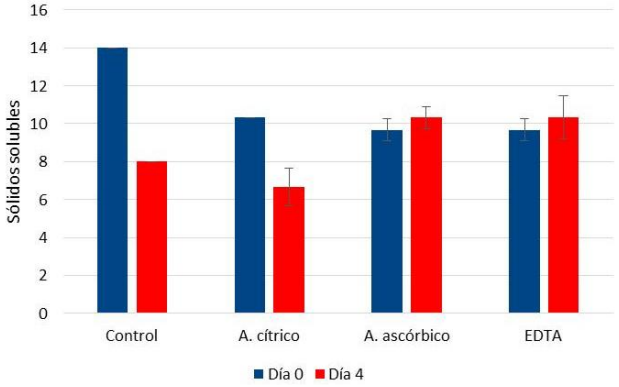
Fuente. Las autoras.

Entre un *dipping* y otro hay variaciones de pH. La muestra que tiene el pH más alto es la control ya a que no ha recibido ningún *dipping* que pueda reducir el pH. En las muestras tratadas, el pH más alto corresponde con las tratadas con EDTA ya que no es un ácido que reduce directamente el pH y no afecta significativamente al nivel de acidez de la piña. La diferencia en los niveles de pH entre el ácido ascórbico y el ácido cítrico se deben a las diferentes propiedades ácidas ya que el cítrico es más ácido que el ascórbico por lo que causa mayor impacto en la reducción de pH. Tras realizar un test de anova de un factor, *dipping*, no se han encontrado diferencias significativas en las medias del pH de las muestras tratadas y la control.

Estos aumentos de pH pueden causar cambios en el producto final. Al aumentar el pH la degradación de los ácidos acentúa el sabor dulce natural de la piña y es más versátil en preparaciones culinarias. Al tener un pH más alto la capacidad de conservación de la piña se verá afectada, ya que es más propicio al crecimiento de microorganismo y al deterioro microbiológico.

La gráfica 9 muestra los datos de sólido soluble de los diferentes *dipping* a 0 horas y a 74 horas. Como se puede observar en la piña control y la piña con el *dipping* ácido cítrico el sólido soluble a los cuatro días disminuye, pero en el caso del ácido ascórbico y EDTA aumenta. El *dipping* con EDTA y ácido cítrico dan estabilidad a los componentes, provocando una mayor retención de sólidos solubles a largo plazo. El EDTA es un agente estabilizador que previene la oxidación y mantiene la frescura en las frutas y esto contribuye a retener los sólidos solubles.

Figura 9. Valores medios del sólido soluble de los diferentes *dipping* y a tiempo 0 y a 4 días.



Fuente. Las autoras.

El ácido cítrico es un ácido muy fuerte y puede causar un efecto más directo descomponiendo componentes de la piña. Su naturaleza ácida desencadena procesos químicos que producen la pérdida de sólidos solubles. También como se puede observar en la gráfica 18 hay una clara diferencia entre las piñas del día 0 tratadas y sin tratar debido a que durante el proceso de preparación hay un impacto en los componentes de la fruta que han podido influir en la liberación sólido soluble en el momento 0.

Tras realizar el test de ANOVA se puede concluir que las diferentes *dippings* sí tienen variaciones significativas en sólido soluble, con un nivel de significación del 95%.

Un aumento de sólido soluble puede alterar el sabor haciéndolo más dulce, y con más calorías, también puede provocar una textura más jugosa y carnosa. Una disminución del sólido soluble supone una reducción en la cantidad de azúcares, además de una textura más ligera y es más versátil en preparaciones culinarias.

La disminución de la acidez total al cabo de los 4 días es debido a el proceso de maduración ya que se descomponen ciertos ácidos naturales que se utilizan en los procesos metabólicos de la maduración y produce que disminuya la acidez total.

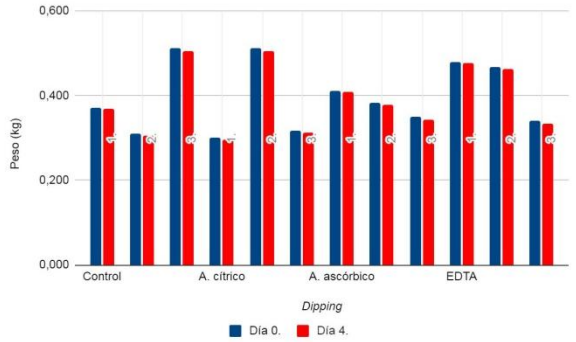
En las piñas tratadas desde el momento 0, la acidez total aumenta porque al aplicar el *dipping* se incrementa la concentración de ácidos, el *dipping* interactúa con los ácidos naturales ya presentes en la fruta aumentando momentáneamente la acidez total antes de que comience a degradarla. El *dipping* que provoca una mayor acidez total es el ácido cítrico debido a que es el ácido más fuerte.

La piña con el *dipping* EDTA tiene menor variación entre el día 0 y el 4 debido a su acción antioxidante. El ácido ascórbico es el *dipping* que más variación produce debido a que interacciona con los ácidos naturales de la piña y al ser más susceptible a la degradación.

Una disminución en la acidez total de la piña podría afectar a su de conservación, volviéndola más susceptible a la descomposición o a procesos de fermentación si se guarda durante largos periodos.

La pérdida de peso en el Gráfico 10 es prácticamente nula en todas las muestras, esto quiere decir que ninguno de los *dipping* afecta ni positiva ni negativamente en la retención de líquidos.

Figura 10. Valores medios del peso de los diferentes *dippings* y a tiempo 0 y 4 días.



Fuente. Las autoras.

En cuanto al color, como se puede ver en la Tabla 4 todos los *dipping* provocan un cambio en "L", "a" y "b" esto puede deberse a que al haber variaciones de pH, estas variaciones pueden provocar que las enzimas que están involucradas en las vías metabólicas que sintetizan los compuestos responsables del color, se vean afectadas. Sucede lo mismo con las variaciones a los 4 días, ya que también el pH varía y por tanto también las enzimas se pueden ver afectadas.

Los ácidos pueden actuar como inhibidores en la enzima polifenol oxidasa que se encarga de acelerar la oxidación de la piña. Otros factores que pueden influir en una disminución del índice de maduración es que los *dippings* contribuyen a mantener la firmeza de la fruta ya que preserva su estructura celular y minimiza la pérdida de agua. El ácido cítrico puede ayudar a preservar otros nutrientes en la piña, como las vitaminas y minerales sensibles a la oxidación.

Conclusiones

Llevada a cabo la experimentación parecen encontrarse diferencias en la evolución de los gases y la tasa de respiración a ambas temperaturas según los diferentes *dippings*. Sin embargo, tras un estudio estadístico, los resultados indican que no hay diferencias significativas por lo que se rechazan las hipótesis de la H1 a la H6.

Sin embargo, en las características físico-químicas después del análisis de datos se ha observado que los *dipping* si afectan a las caracterizaciones fisicoquímicas de la piña. Por tanto, sí que se aceptan las hipótesis H7 y H8. Según el uso que se le vaya a dar a la piña o las características del consumidor, sería recomendable usar un *dipping* u otro. El EDTA produce un pH muy parecido a la muestra control, pero afecta los sólidos solubles provocando un sabor y una textura muy favorable para preparaciones culinarias. Sin embargo, si la piña va estar varios días sin consumirse se recomienda utilizar el *dipping* con ácido cítrico que disminuye el pH y aumenta la acidez total, siendo menos propicio a la aparición de crecimiento microbiano.

Futuras investigaciones podrían incluir el efecto de diferentes concentraciones del *dipping* de ácido cítrico en la tasa de respiración, el efecto en la tasa de respiración de la conservación en diferentes materiales o envases con diferentes interacciones con el aire, el efecto del ácido ascórbico en la evolución de las características físico-químicas con el paso del tiempo o el efecto de la tasa de respiración del EDTA en diferentes temperaturas, cortes y presiones.

Bibliografía

Azcón Bieto, J., & Talón, M. (2000). Fundamentos de fisiología vegetal. Barcelona: MacGraw-Hill Interamerica.

Barceló, J., Nicolás, G., Sabater, B., & Sanchéz, R. (2001). *Fisiología Vegetal*. Madrid: Pirámide.

Belitz, H., & Grosch. (1988). *Química de los alimentos*. Zaragoza: Acribia.

Cámara Hurtado, M. M. (1992, Junio). Caracterización de derivados de piña: zumos y néctares. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid.

Castelló, M. (2007). Efecto de las condiciones de operación en los cambios fisicoquímicos y fisiológicos de frutas mínimamente procesadas por deshidratación osmótica. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de València.

Cheftel, J.-C., Cheftel, H., & Bezancon, P. (1992*). Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos*. Zaragoza: Acribia.

Chirait Boix, A., Martinez Navarrete, N., González Martinez, C., Talens Oliag, P., & Moraga Ballestero, G. (2007). *Propiedades físicas de los alimentos*. Valencia. Universidad Politécnica de Valencia.

Come, D., & Carbineau, F. (2002). Clasificación y principales características fisiológicas de las hortalizas. *Tecnología de las hortalizas., 1*, 3-14.

Defilippi, B., & Campos, R. (2006). Poscosecha de fruta mínimamente procesada. *Tierra Adentro, 71*, 20-21.

Fonseca, S. C., Oliveira, F. A., Frias, J. M., Brecht, J. K., & Chau, K. V. (2002). Modelling respiration rate of shredded Galega kale for development of modified atmosphere packaging. *Journal of Food Engineering, 54*(4), 299-307.

Gortner, W. A., Dull, G. G., & Krauss, B. H. (1967, Diciembre). Fruit Development, Maturation, Ripening, and Senescence: A Biochemical Basis for Horticultural Terminology. Hort Science, 2(4), 141-144. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.2.4.141

Gutiérrez, T. M., Hoyos, O. L., & Páez, M. I. (2006, Diciembre 5). Determinación del contenido de ácido ascórbico en uchuva (Physalis peruviana L.), por cromatografía líquida de alta resolución (CLAR). *Dialnet, 5*(1), 70-79.

Kader, A. A., Zagory, D., Kerbel, E. L., & Wang, C. Y. (1989). 688 CrossRef citations to date 16 Altmetric Original Articles Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition, 28*(1), 1-30.

Muñoz-Villa, A., Sáenz-Galindo, A., López-López, L., Cantú-Sifuentes, L., & Barajas-Bermúdez, L. (2014). Ácido Cítrico: Compuesto Interesante. *Revista científica de la Universidad Autónoma de Coahuila, 6*(12), 18-19.

Organización de las Naciones Unidas, Asamblea General. Agenda 2030 para el desarrollo sostenible, Nueva York, 25 de septiembre 2015. disponible en: https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/

Ortolá Ortolá, M. D. (2020, Junio 8). Determinación de la tasa respiratoria de frutas. Universitat Politècnica de València. Recupero de: http://hdl.handle.net/10251/145648

Singleton, V. L. (1965). Chemical and physical development of the pineapple fruit I. Weight per fruitlet and other physical attributes. *Journal of Food Science,* 30(1), 98-104.

Watada, A. E., & Qi, L. (1999). Quality of fresh-cut produce. Postharvest Biology and Technology, 15(3), 201-205.

Wills, R. H. H., Lee, T. H., McGlasson, W. B., Hall, E. G., & Graham., D. (1984). Fisiología y manipulación de frutas y hortalizas post-recolección. Zaragoza: Acribia.

Fecha de recepción: 20 de diciembre de 2023
Fecha de aceptación (provisional): 4 de abril de 2024
Fecha de aceptación (definitiva): 12 de junio de 2024

Copyright ©
Asociación por la Investigación
en Educación Secundaria
AINVES

C/ Carlos II, 17
Madrid
28022