

FISIOLOGÍA Y TECNOLOGÍA DE POSTCOSECHA DE HORTALIZAS DE HOJA DE CUARTA GAMA: UNA REVISIÓN

POSTHARVEST PHYSIOLOGY AND TECHNOLOGY OF FRESH-CUT LEAFY VEGETABLES: A REVIEW

Amalia Hermosilla¹ y Karin Albornoz^{2*}

¹ Departamento de Producción Vegetal, Facultad de Agronomía Universidad de Concepción, Región del Biobío, Chile

² Department of Food, Nutrition, and Packaging Sciences, Coastal Research and Education Center, Clemson University, 2700 Savannah Highway, Charleston, SC 29414 USA
<https://orcid.org/0000-0002-0483-4323>

* Autor para correspondencia: kpalbor@clemson.edu

RESUMEN

Los productos de cuarta gama son frutas u hortalizas sometidas a procesos de pelado, troceado, rallado, entre otros. En su mayoría, son productos listos para consumir, ya que antes de envasarse son lavados y desinfectados. A lo largo de los años, el mercado de estos productos ha ido en crecimiento a nivel mundial. En Chile, su comercialización se encuentra limitada a un sector de nicho, debido a que los precios son elevados y en su mayoría son preferidos por personas de ingresos más altos. Dentro de estos productos se encuentran las hortalizas de hoja, que son altamente perecederas debido a sus elevadas tasas respiratorias y de transpiración, las cuales son exacerbadas por el procesamiento, por lo que es esencial minimizar la magnitud del daño mecánico y mantener temperaturas bajas durante el procesamiento y almacenamiento del producto. En este rubro, usualmente se utilizan filmes plásticos con permeabilidad selectiva a los gases que componen la atmósfera interna entre el envase y el vegetal, lo que es conocido como atmósferas modificadas. Estas benefician la calidad y duración del producto. En la industria de cuarta gama internacional, microorganismos patógenos que causan enfermedades en humanos han sido asociadas a distintos brotes, destacando *Escherichia coli* y *Salmonella enterica*. Por ello, es importante implementar buenas prácticas durante la elaboración del producto, como la utilización de métodos de sanitización para el lavado, buena higiene en el lugar de trabajo y mantención de temperaturas óptimas para asegurar la inocuidad y calidad microbiológica del producto final.

Palabras clave: Daño mecánico, procesamiento, inocuidad, vida útil, bajas temperaturas.

ABSTRACT

Fresh-cut products are fruits or vegetables subjected to peeling, chopping, and grating, among others. Most are ready-to-eat products since they are washed and disinfected before being packaged. Over time, the fresh-cut produce market has been growing worldwide. In Chile, commercialization of these products is limited to a niche market because they have higher prices than unprocessed produce and are mostly preferred by people with higher incomes. Among these products are leafy vegetables, which are highly perishable due to their high rates of respiration and water loss induced

by processing. Therefore, it is essential to reduce the severity of mechanical damage as well as maintain low temperatures during processing and storage. Plastic packaging that is permeable to the gases that make up the internal atmosphere, which is known as modified atmosphere packaging (MAP), is used. MAP maintains the quality and extends the shelf-life of the product. In the fresh-cut industry worldwide, human pathogens have been involved in different outbreaks, particularly species like *Escherichia coli* and *Salmonella enterica*. For this reason, it is important to implement good practices during processing, such as using clean water for washing, good hygiene in the workplace, and maintenance of optimal temperatures during storage, which will contribute to the microbiological quality and safety of the product.

Keywords: Mechanical damage, processing, safety, shelf-life, low temperatures.

INTRODUCCIÓN

Los productos de cuarta gama, prepicados, o mínimamente procesados, son aquellas frutas, hortalizas, o una combinación de ambas, que han sido físicamente alteradas en comparación con su condición inicial luego de ser cosechadas, por ejemplo, a través de procesos de pelado, troceado, rallado, entre otros, y que no poseen procesamiento adicional como escaldado o cocción (Landi et al., 2015). Estos productos se comercializan en distintas presentaciones, tales como 1) cortado fresco, que son ensaladas de verduras de un tipo o mixtas; 2) snacks, que son frutas o verduras crudas cortadas en tamaños pequeños; 3) bandejas de fiesta, que son mezclas de verduras listas para consumir con o sin salsas; 4) comidas listas, que corresponden a alimentos a base de verduras crudas que requieren una preparación (calentado o cocción); 5) barras de ensaladas, que son góndolas que poseen un vasto surtido de frutas y verduras acondicionadas y para autoservicio; y 6) frutas o ensaladas de frutas en formato individual listas para consumir, entre otras (Galizio y Díaz, 2020). En su mayoría, son alimentos listos para ser consumidos, ya que han experimentado procesos de lavado antes de ser envasados, lo que los hace preferidos por quienes llevan hábitos de vida acelerada y que no disponen de mucho tiempo para dedicar a la cocina (Landi et al., 2015). En general, estos productos mantienen las propiedades organolépticas y nutritivas de las verduras y frutas frescas, por lo tanto, son considerados una opción de consumo para llevar una vida saludable (Oliveira et al., 2015).

Los productos de cuarta gama presentan una fisiología que difiere del producto intacto, al experimentar daño físico y encontrarse en una condición de estrés (Ansah et al., 2018a). A causa de esto, hay deshidratación, liberación de enzimas y deterioro acelerado, lo cual afecta directamente al sabor, apariencia, y calidad nutricional y comercial del producto (Miceli et al., 2019; Tapia et al., 2015).

Dentro del grupo de las hortalizas prepicadas, se puede destacar a las hortalizas de hoja, que se caracterizan por ser altamente perecederas, y por tener altas tasas respiratorias y transpiratorias. El almacenamiento a temperaturas cercanas a 0°C después de la cosecha es fundamental para reducir la velocidad de deterioro y de pérdida de calidad (Gil y Garrido, 2020a).

En la última década, la industria de hortalizas de cuarta gama ha incrementado sus estándares de inocuidad, calidad y continuidad en la producción y entrega del producto (Ansah et al., 2018a). Comparativamente, los costos de producción son más altos que los productos no procesados, debido al requerimiento de cadena de frío, y a la implementación de centros de procesamiento y uso de mano de obra calificada (Salas, 2017).

Perspectiva del rubro de cuarta gama en Chile y a nivel internacional

Los productos de cuarta gama surgieron en los años 40 en Estados Unidos. A finales de la década del 80, experimentaron un auge al facilitar la elaboración de alimentos en los hogares, y también para restaurantes y locales de comida rápida (Landi et al., 2015). En esta década, el mercado comenzó a expandirse hacia Europa, llegando en primer lugar a Francia y el Reino Unido, y desplazándose posteriormente a los demás países del continente (Singla et al., 2020). Al principio, se dificultó su ingreso en el mercado, debido a que: i) eran desconocidos para la población, ii) al estar envasados, no inspiraba la sensación de fresca comparado con el producto sin procesar, y iii) el precio era demasiado elevado frente a los productos frescos sin procesar (Landi et al., 2015).

A medida que se implementaron mejoras en la industria, tales como almacenamiento a bajas temperaturas, mayor aprovechamiento de la materia prima, entre otras, aumentó la calidad y la vida útil de estos productos. La reducción en los costos de producción contribuyó a disminuir el precio de mercado (Landi et al., 2015; Singla et al., 2020). El consumo se incrementó a medida

que fue creciendo el conocimiento acerca de sus ventajas, como, por ejemplo, la disminución en el tiempo de preparación de comidas, reducción en desperdicios y facilidad de consumo (Landi et al., 2015).

En Estados Unidos, los productos de cuarta gama más comercializados son las hortalizas como ensaladas en distintas presentaciones con formatos individuales entre 100-150 g, y entre 1-10 kg para el mercado de hoteles, restaurantes y casinos (Rodríguez et al., 2015). En este país, las ventas representan un 16% de las ventas totales de frutas y verduras (Galizio y Díaz, 2020).

En el rubro de los prepicados en España, el consumo per cápita de hortalizas al año 2020 fue de 7 kg por persona, el cual aumentó en 1,5% comparado con el año 2019, y en el caso de las frutas, el consumo fue de 4 kg por persona (Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, 2021). En este país, el consumo se ha visto influenciado por diversos factores, tales como una mayor participación de frutas y verduras en una alimentación saludable, nuevos hábitos familiares que buscan menos tiempo para la preparación de comidas en el hogar, y la simplificación de las labores en el hogar por la creciente incorporación de la mujer al mundo laboral (Artés, 2006).

En el mercado asiático, los productos de cuarta gama son altamente demandados, ya que sus consumidores prefieren productos listos para consumir que sean saludables, inocuos y de buena calidad, siendo capaces de pagar un precio elevado por ellas. Progresivamente, se ha ido mejorando la mantención de la frescura de los productos, haciendo que su vida útil sea más prolongada (Bae et al., 2022; Hamdan et al., 2022). Países que destacan en este mercado son Japón, Corea del Sur y Tailandia. En Japón, las ventas de estas verduras al año 2013 fueron de 190.000 millones de yenes a nivel minorista, donde están incluidos 60.500 millones de yenes de ventas en supermercados. Las verduras más utilizadas son el repollo, cebolla, daikon (rábano japonés), lechuga y zanahoria, donde se estima que el 15% de las hortalizas se obtienen desde el extranjero, siendo China el mayor exportador (USDA, 2014).

En Latinoamérica, el consumo de productos prepicados es bajo en relación con Norteamérica. En la mayoría de los casos, se encuentran vegetales cortados y envasados sin cumplir los requerimientos de frescura e inocuidad mínimos, y debido a que no se mantienen en condiciones de continua refrigeración, su vida útil se reduce significativamente (Galizio y Díaz, 2020). En Ecuador, la oferta de este rubro es reducida, comercializándose alrededor de 25 productos, donde el 60% corresponde a mezclas para sopas y el resto a ensaladas de frutas, las cuales son

comercializadas en supermercados de zonas urbanas, en hoteles y casinos (Gavilanes Vaca, 2020).

En Chile, la tendencia es similar al escenario global, ya que la producción de hortalizas y frutas está principalmente orientada al mercado de primera gama, al igual que para congelados, jugos, deshidratados y conservas (Furche y Martínez, 2011). Actualmente, no se encuentran informes estadísticos actualizados sobre el mercado de cuarta gama, y su comercialización es limitada (Matiacevich et al., 2016). En este rubro se encuentran hortalizas de hoja, como lechuga, repollo y espinaca, además otros órganos de consumo como zanahoria, apio, betarraga, los cuales son envasados principalmente en bolsas de atmósfera modificada pasiva y en clamshell, ya sean solos o acompañados de otras hortalizas para ensaladas o para la elaboración de comidas (Gonzalez-Aguilar et al., 2011).

En Chile, el consumo de los productos mínimamente procesados se relaciona directamente con el nivel de ingreso de los consumidores (Pefaur, 2014). Su consumo es ocasional, y el lugar principal de compra es el supermercado. Debido a que poseen precios más elevados que los productos no procesados, son preferidos por personas de mayores ingresos (Matiacevich et al., 2016). Las empresas de este rubro cuentan con la tecnología necesaria para abastecer a cadenas de comida rápida, supermercados y casinos (Muñoz, 2021).

Según Cristian Muñoz, presidente de la Asociación Gremial de Productores y Exportadores de Hortalizas de Chile (Hortach), el mercado de cuarta gama en el país tiene potencial de expansión, pero es necesario que más productores se interesen en el rubro. Esto contribuiría a reducir los costos de producción, y que la industria proyecte una imagen de que los productos pueden ser consumidos con confianza de que cumplen con estándares de calidad e inocuidad (Muñoz, 2021). En esta línea, últimamente, se han implementado capacitaciones a agricultores de distintas localidades a lo largo de Chile para que conozcan los implementos requeridos en la elaboración de estos productos (Universidad de Chile, 2021).

Fisiología de postcosecha de hortalizas de hoja de cuarta gama y factores que determinan su calidad

Las hortalizas pueden ser clasificadas según diferentes criterios, siendo uno de ellos el órgano de consumo. Dentro de esta clasificación, se encuentran las hortalizas de hoja, inflorescencia, tallo, raíces y fruto. Las hortalizas de hoja de cuarta gama son aquellas cuya parte comestible

corresponde a las láminas foliares y a pecíolos (Rodríguez et al., 2015). En este grupo, destacan productos como la lechuga, acelga, espinaca, repollo, repollo de Bruselas, kale, entre otras (Gullino et al., 2019).

Las hortalizas de hoja de cuarta gama son órganos altamente perecibles debido factores de tipo biológico y medioambiental, los cuales contribuyen a determinar su calidad y tasa de deterioro.

Factores biológicos

Tasa respiratoria. Las hojas son órganos que, a lo largo de su ciclo de vida, e influenciados por el medio ambiente, adoptan características morfológicas y anatómicas para captar mejor la luz solar y obtener nutrientes a través del proceso fotosintético. Este proceso comienza a dependencias de la luz solar que es interceptada, donde se fija dióxido de carbono (CO_2) y se libera oxígeno (O_2), resultando en la síntesis de azúcares como fuente de energía (Crang et al., 2018).

En las hojas, los estomas regulan el intercambio gaseoso de CO_2 y O_2 , y la difusión de vapor de agua hacia la atmósfera a través del proceso transpiratorio (Hasanuzzaman et al., 2023). Luego de la cosecha, se interrumpe el suministro de agua proporcionado por la planta madre, induciendo así la deshidratación y pérdida de presión de turgor desde los estomas. Esto resulta en la marchitez y reducción de firmeza de las hojas (Singla et al., 2020). Por ejemplo, el coeficiente de transpiración o valor K en lechuga es de 7.400 mg/kg/seg/MPa, mientras que en cebolla es de 60 mg/kg/seg/MPa (Holcroft, 2015). No obstante, estos valores también se encuentran influenciados por la morfología de las hortalizas de hoja, al contar con superficies irregulares que contribuyen a aumentar la relación superficie / volumen, y en consecuencia fomentan el intercambio gaseoso y pérdida de vapor de agua (Duan et al., 2020; Mampholo et al., 2016).

En los productos prepicados, se produce un aceleramiento de la pérdida de agua a causa del daño mecánico inducido por el corte, la cual supera los valores observados en productos intactos o no procesados (Velderrain-Rodríguez et al., 2015). Este fenómeno se ve favorecido por el incremento en la relación superficie / volumen de los trozos de láminas foliares que resulta del fraccionamiento, y por la pérdida de la integridad estructural de las células adyacentes al lugar donde ocurre el corte (Giannakourou and Tsironi, 2021).

Respiración y producción de etileno. La respiración es un proceso catabólico, donde los compuestos orgánicos almacenados, tales como carbohidratos, proteínas y lípidos, son degradados en productos

terminales simples acompañados de liberación de energía, consumiendo O_2 y produciendo CO_2 (Amthor, 2023). La energía obtenida de este proceso es utilizada para la actividad metabólica de la planta, para la mantención de las estructuras existentes, transporte de metabolitos e iones, regeneración de proteínas y para los procesos de reparación (Cantwell y Suslow, 2011).

Durante la postcosecha, el suministro de nutrientes proporcionado por la planta madre es interrumpido, por lo que su deterioro se comienza a acelerar y, por lo tanto, su vida útil se reducirá (Kader, 2002a). En productos prepicados, una señal de estrés adicional es el daño mecánico inducido en el proceso de elaboración, el que promueve el aumento en la tasa respiratoria. Este fenómeno induce disminuciones en los contenidos de azúcares, ácidos y otros compuestos que determinan el sabor, aroma y valor nutricional (De Corato, 2020; Tapia et al., 2015). Por ejemplo, al cuantificar la producción de CO_2 en hojas de repollo enteras y cortadas en tiras que fueron almacenadas entre 2-10°C por 9 días, se observó que, a todas las temperaturas, la tasa respiratoria fue más alta en el repollo cortado (Cantwell y Suslow, 2011).

Dependiendo del tipo de producto y del mercado, el punto de madurez o de desarrollo a cosecha tiene una importante incidencia en la tasa respiratoria. Algunos tipos de lechuga y espinaca son cosechados cuando sus hojas aún están inmaduras y en activo crecimiento, lo que implica que la velocidad de respiración, y, por ende, de deterioro sea mucho más rápida que en órganos con mayor madurez (Saini et al., 2017). No obstante, hay estudios que señalan una tendencia opuesta. En discos de hojas de lechuga cv. Troubadour cosechados 35, 42 o 49 días después del trasplante, y almacenados a 12°C y 90% humedad relativa (HR), se observó que las hojas de mayor madurez tuvieron una vida útil menor que las hojas jóvenes, al presentar amarillamiento, pardeamiento, marchitez y pérdida de brillo que sobrepasó el límite de aceptabilidad por parte del consumidor (Witkowska, 2013).

El etileno es una fitohormona que promueve los procesos de senescencia, y que es sintetizada en mayor abundancia bajo condiciones de estrés (Balaguera-López et al., 2014). El corte que ocurre durante el procesamiento de cuarta gama, al representar un estrés por daño mecánico, induce la sobreproducción de esta hormona y el aumento de tasa de respiración (Cocetta y Natalini, 2022). El tamaño del corte realizado también tiene influencia sobre la producción de etileno en hortalizas de hoja. En lechuga Iceberg cortada en trozos de tamaño: menor a 1 cm, entre 0,5-1 cm y de 2 cm, la cantidad de etileno generado fue

inversamente proporcional al tamaño del corte, es decir, a menor tamaño, mayor etileno producido (Martínez et al., 2005).

Pardeamiento enzimático. Constituye un evento fisiológico que representa un desafío para el rubro, sobre todo desde una perspectiva estética. Al momento de realizar el corte del producto, aumenta la síntesis de compuestos fenólicos a través de la enzima Fenilalanina Amonio Liasa (FAL), como una respuesta del tejido al estrés y a la mayor síntesis de etileno (Silveira, 2017). Por otra parte, la estructura de los tejidos es interrumpida, lo cual facilita que las enzimas Polifenol Oxidasa (PFO) y Peroxidasa (POD) tomen contacto con compuestos fenólicos normalmente compartimentalizados al interior de las vacuolas, y en presencia de oxígeno ambiental, se produce su oxidación a *o*-quinonas, compuestos altamente reactivos que polimerizan formando pigmentos pardos, tales como melaninas (Zhang, 2023). Esta reacción causa el deterioro de las características organolépticas, resultando así en grandes pérdidas económicas (Singh et al., 2018). Un ejemplo de pardeamiento enzimático es la aparición de manchas rojizas o pardas en las nervaduras de las hojas de lechuga, especialmente en la nervadura central (Huang et al., 2020).

Susceptibilidad al ataque de microorganismos fitopatógenos. Los tejidos vegetales, incluyendo las hortalizas de hoja se encuentran colonizados por una comunidad natural de diversos microorganismos, o microbiota (Ali et al., 2023). Algunos de esos microorganismos, denominados fitopatógenos, son responsables de causar enfermedades en los tejidos vegetales (Qadri et al., 2015). Especies fitopatógenas pueden estar concentradas en las células rotas y en tejido dañado a causa del procesamiento de cuarta gama, ya que estas zonas les proporcionan nutrientes y un ambiente protegido para su crecimiento, pudiendo alterar la calidad del producto (Miceli et al., 2019; Toivonen y DeEll, 2002). Por ejemplo, el grupo de bacterias fitopatógenas *Pseudomonas* spp. tiene la capacidad de macerar el tejido vegetal en hojas de lechuga mínimamente procesadas (Myszka et al., 2017). Asimismo, las lesiones causadas por microorganismos patógenos son capaces de actuar como punto de entrada para especies causantes de enfermedades en humanos (Mulaosmanovic et al., 2021).

Factores medioambientales

Dentro de las variables externas o medioambientales que influyen en la tasa de deterioro de los productos mínimamente procesados se encuentran:

Manejo agronómico. Intervenciones realizadas durante la etapa de precosecha, como la elección del cultivar, el momento de cosecha, y las técnicas de cultivo influyen drásticamente en el desempeño del producto en postcosecha, al afectar la fisiología del tejido vegetal (Kumar y Singh, 2023; Prasad et al., 2023). La influencia de factores en precosecha sobre parámetros en postcosecha representan una vasta área de estudio que no será abordada en detalle en el presente texto. Koukounaras et al. (2020) reportaron que factores como el cultivar, posición en la hoja (cercana a la base o al extremo de la hoja), ubicación en la planta (hojas internas o externas), y momento de cosecha, indujeron diferencias sobre el pardeamiento a nivel bioquímico y visual, y la vida útil en hojas cortadas de espinaca y lechuga durante la refrigeración a 4 °C (Koukounaras et al., 2020). Tomás-Callejas et al. (2011) observaron que hojas picadas de Mizuna, acelga roja y Tatsoi, producidas en otoño y verano presentaron diferentes tasas de sobrevivencia de *Escherichia coli* O157:H7 durante el almacenamiento postcosecha (Tomás-Callejas et al., 2011). Bonasia et al. (2023) determinaron que la aplicación de diferentes dosis de fertilizante nitrogenado (0 a 100 kg ha⁻¹) y del bioestimulante azoxistrobina afectaron la turgencia de discos de lechuga (Bonasia et al., 2023).

Temperatura. Es un factor que causa gran efecto en la velocidad de las reacciones metabólicas en los tejidos, tales como la respiración, producción de etileno y transpiración (Schudel et al., 2023). En general, a mayor temperatura, aumentará la tasa de estos procesos, y por ende, del deterioro. Esto se debe al coeficiente de temperatura Q_{10} , el cual describe el efecto que tiene la temperatura sobre las reacciones enzimáticas, por lo que, si se aumenta 10 °C, la velocidad de reacción se duplicará, y viceversa, aunque se pueden presentar excepciones (Wiley, 2017). Por ello, para asegurar una buena calidad, los productos de cuarta gama deben almacenarse y procesarse a bajas temperaturas por sobre el punto de congelación (0°C), que sean adecuadas en función de la especie y cultivar (Dubey et al., 2023). Es fundamental también reducir el tiempo entre la cosecha del producto hasta su refrigeración (Chen et al., 2023)

En un estudio en hojas de kale cortadas y almacenadas a 0 y 5°C por 28 o 42 días, se estudió el cambio en el contenido de amoníaco, el cual es un subproducto de la degradación de proteínas y un indicador del deterioro en hortalizas de hoja. Las muestras a 5°C exhibieron un aumento significativo de este compuesto a partir de los 21 días de almacenamiento, en contraste a las hojas a

0 °C, que mantuvieron niveles estables por hasta 42 días (Cantwell et al., 2017). En lechuga Iceberg prepicada, se determinó que la calidad visual alcanzó el nivel más bajo de aptitud comercial luego de 4 y 12 días de almacenamiento, a los 20 y 10 °C, respectivamente (Cantwell y Kasmire, 2002).

Humedad relativa. El déficit de presión de vapor (DPV) entre el interior de los tejidos y el medio que rodea al producto, determina la pérdida de vapor de agua a través de la transpiración. La pérdida de agua contribuye a la marchitez, pérdida de turgencia y de calidad de hortalizas de hoja prepicadas (Gil y Garrido, 2020b). Para reducir el DPV, es recomendable mantener condiciones de alta HR (>90%) en hortalizas de hojas, la que debe ser acompañada con temperaturas óptimas y estables de almacenamiento. Esto, ya que las variaciones de temperatura pueden fomentar la condensación de la humedad al interior del envase, y promover el crecimiento microbiano (Volpe et al., 2018).

Composición atmosférica. La composición gaseosa de la atmósfera que rodea al producto tiene un gran efecto sobre su vida útil (Qadri et al., 2015). El aire está constituido por una mezcla de gases, donde se destaca el N₂ con 78% de su volumen, el O₂ con 21% y el CO₂ con 0,04% (Fernández, 2013). En el almacenamiento de hortalizas de cuarta gama, se requiere disponer al producto al interior de un envase con una mezcla de gases, donde la concentración de O₂ sea baja y de CO₂ sea moderada a alta, para así disminuir las reacciones metabólicas que favorecen el deterioro, al igual que el pardeamiento enzimático (Flores et al., 2020). Para esto, el material del envase debe tener una buena permeabilidad, considerando que la salida del CO₂ debe ser cercano de 3 a 5 veces mayor que la permeabilidad del O₂, evitando la fermentación del producto (Kader, 2002b).

En un estudio, se almacenaron hojas en tiras de endivia y de lechuga Iceberg en atmósfera modificada en equilibrio (EMA) de 2-3% O₂ y 2-3% de CO₂, y se compararon con productos almacenados en condiciones de aire a una temperatura de 7°C. La EMA disminuyó la tasa respiratoria, provocando una retención más prolongada de la rigidez del vegetal, además de reducir la fuga de nutrientes y agua, logrando una mayor vida útil (Heard, 2002).

Aspectos microbiológicos asociados a los productos de cuarta gama

Los vegetales, tanto en pre- como en postcosecha, están expuestos al contacto con insectos, animales o humanos. En cualquiera de

estas instancias puede haber contaminación con microorganismos patógenos dañinos para el ser humano, ya sea directamente a través de contacto con materia fecal o mediante la manipulación humana, equipo de cosecha, procesamiento, transporte o distribución (Oliveira et al., 2015; Qadri et al., 2015).

Los procesos a los cuales se someten las hortalizas de cuarta gama hacen que el tejido se rompa, favoreciendo la liberación de los nutrientes al exterior, los que pueden servir como fuente de alimento para microorganismos (Arienzo et al., 2020; Mulaosmanovic et al., 2021). Adicionalmente, el nivel de manipulación al que se someten los productos de cuarta gama es significativamente mayor a aquellos en formato intacto, aumentando así los puntos críticos en los que puede ocurrir contaminación microbiológica (Qadri et al., 2015).

Asociado al consumo de hortalizas de hojas de cuarta gama, se han detectado brotes de enfermedades entéricas en distintos países (Wang y Teplitski, 2023). Estas enfermedades, son causantes de problemas gastrointestinales debido a la ingesta de alimentos contaminados por bacterias y virus, y que mayoritariamente son causadas por *Escherichia coli* y *Salmonella enterica* (Bolívar et al., 2023; Cuggino et al., 2023).

Los microorganismos patógenos que pueden encontrarse presentes en la superficie de hortalizas frescas, pero que no afectan la calidad sensorial de estos productos agrícolas son: *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* spp., *Escherichia coli* y *Shigella* spp. Los microorganismos pueden permanecer durante días en el vegetal, algunos son capaces de multiplicarse bajo temperatura ambiente y otros se multiplican a temperaturas de refrigeración (Cuggino et al., 2023).

L. monocytogenes es un bacilo psicrófilo Gram positivo perteneciente a la familia Listeriaceae, que es capaz de crecer a temperaturas entre 2,5°C y 45°C (Meloni et al., 2023). Se encuentra presente en el suelo, carne, leche, heces de animales, frutas y verduras, y causa la enfermedad Listeriosis. Sobrevive por varios días sobre las hortalizas y puede multiplicarse en cualquier etapa del procesamiento (Shoja Gharehbagh et al., 2023).

Dentro de las bacterias que pertenecen a la familia Enterobacteriaceae y son Gram negativas, se encuentran: *Salmonella* spp., que forma biopelículas que se adhieren a las superficies de frutos y hortalizas de hojas, lo cual dificulta su control y eliminación. Se estima que mundialmente, *Salmonella* causa entre 200 a 1.000 millones de infecciones al año por alimentos contaminados (He et al., 2023). En un estudio, se observó que *Salmonella* se adhirió fácilmente a hojas de lechuga Romana que fueron expuestas

a temperatura ambiente por dos horas luego de cortadas (Cortés-Higareda et al., 2021).

E. coli habita en el tracto digestivo del ser humano y animales, sin embargo, no todas sus cepas son de carácter patógeno. Sus cepas se dividen en cinco grupos, donde destaca el grupo *E. coli* Enterohemorrágica (EHEC), que produce las toxinas shiga y verotoxinas, causantes de cuadros infecciosos que pueden llegar a ser graves, ocasionando colitis hemorrágica y síndrome urémico hemolítico. Las cepas más comunes en infecciones son los serotipos O157:H7 y O145. Durante el año 2010, se presentó un brote de *E. coli* O145 en lechuga Romana de cuarta gama en 5 estados de Estados Unidos. La fuente de infección que ocasionó el brote fue en la empresa de procesamiento, que posteriormente retiró todas las bolsas del mercado (Centers for Disease Control and Prevention, 2010).

Shigella spp., es causante de la enfermedad Shigelosis. En Estados Unidos, en un brote causado por lechuga de cuarta gama contaminada por *S. sonnei*, estudiantes universitarios fueron afectados por su consumo en barras de autoservicio. Otro brote producido por la misma bacteria y lechugas del mismo proveedor generó 347 casos de gastroenteritis. Según la investigación, se concluyó que la fuente del brote fue por un trabajador de la industria que procesaba la materia prima y que diseminó la contaminación (Farias, 2014).

Procedimientos y tecnologías postcosecha en la industria de cuarta gama

Para mantener la calidad sensorial, nutricional y la inocuidad de los productos mínimamente procesados se deben implementar buenas prácticas y técnicas de conservación, incluyendo la mantención de temperaturas adecuadas de almacenamiento, técnicas de envasado e inhibidores del pardeamiento enzimático, entre otros (Tapia et al., 2015). El proceso de elaboración dependerá del producto, del mercado al que esté orientado y de la materia prima, donde se requiere asegurar la inocuidad y calidad. Para esto, se debe minimizar el daño mecánico, tener un correcto lavado y enjuague del vegetal, y mantener temperaturas controladas a lo largo del proceso y almacenamiento (Galizio and Diaz, 2020).

Fraccionamiento del producto

El corte o fraccionamiento de las láminas foliares es el proceso orientado a subdividir el producto intacto en trozos de menor tamaño. El corte se realiza comúnmente con cuchillos de acero inoxidable, aunque en las últimas décadas se han incorporado tecnologías alternativas,

como el waterjet o corte con agua a alta presión (Cantwell et al., 2015; Wulfkuehler et al., 2014). Dado que es aquí donde se infiere el daño mecánico, la tasa de deterioro y pérdida de calidad del producto dependerá en gran medida de las acciones implementadas durante esta etapa (Singla et al., 2020).

El tamaño de la operación de cuarta gama, el tipo de producto y el mercado al cual esté orientado determinarán si el fraccionamiento se realizará de forma manual o mecánica. No obstante, el uso de herramientas de corte con hojas afiladas y la reducción del grado de daño mecánico son estrategias transversales para minimizar el deterioro y la reducción de calidad (Ansah et al., 2018b). En repollo y lechuga, el índice de pardeamiento obtenido a través de una lectura espectrofotométrica alcanzó valores más altos en muestras picadas a mano que cortadas con cuchillo, y también en aquellas fraccionadas en trozos pequeños (2 × 0.5 cm) que en pedazos de mayor tamaño (3 × 2 cm) (Chung et al., 2012).

En un estudio en lechuga Iceberg cv. Salodin, el contenido total de ácido ascórbico (AAT) fue analizado en tratamientos de prepicado manual o mecánico. Mayores niveles de AAT fueron conservados en lechuga fraccionada manualmente. Muestras picadas en trozos pequeños usando un cuchillo afilado retuvieron 18% menos AAT que en el tratamiento manual, mientras que aquellas cortadas con máquina tuvieron una retención de AAT 25-63% menor que en el corte manual. La utilización de una máquina con disco sin filo presentó una reducción de 10% de AAT en comparación con el uso de un disco afilado (Barry-Ryan y O'Beirne, 1999).

La dirección del corte también influye en la tasa de deterioro. En lechuga cortada en dirección longitudinal o transversal a la nervadura central y almacenada a 6 y 10 °C por 4 y 5 días, las muestras con corte transversal presentaron mayor daño, tasa respiratoria y abundancia de volátiles de la ruta metabólica de la lipoxigenasa, la cual está asociada a tejido con daño mecánico (Deza-Durand y Petersen, 2011).

Temperatura y humedad relativa

La mantención de bajas temperaturas, cercanas a 0 °C a lo largo del procesamiento y de la manipulación de estos productos, es crítica, ya que reduce el deterioro del tejido vegetal y la proliferación de microorganismos fitopatógenos, al igual que patógenos de humanos (Escalona, 2017). Por lo general, los productos hortofrutícolas de cuarta gama se deben mantener refrigerados entre los 2 – 8 °C, dependiendo del producto, lo que otorga una vida útil entre 7-10 días (De Ancos et al., 2015). En las hortalizas de hojas

prepicadas, el rango de temperaturas óptimas es de 0° a 5 °C (Kader, 2002b). Se ha observado que temperaturas de 20 y 25 °C durante el transporte y el almacenamiento aumentan sustancialmente la tasa respiratoria, y, por ende, de deterioro en lechuga de diferentes cultivares (Peng et al., 2020; Peng y Simko, 2023).

Durante la postcosecha, se produce gran pérdida de agua del vegetal debido a la transpiración, ocasionando deshidratación, por lo que es recomendable mantener una HR alrededor del 95% y utilizar envases de polímeros plásticos de baja permeabilidad al vapor de agua (Ayala-Zavala et al., 2008; Volpe et al., 2018).

Composición atmosférica y envases de atmósfera modificada

Las atmósferas modificadas (AM) son un complemento para mantener la calidad y extender la vida postcosecha en hortalizas de hoja mínimamente procesadas que debe ser acompañado siempre de un controlado manejo de temperaturas y una alta HR. Las AM consisten en la alteración de la concentración de gases interna del envase que contiene al producto, lo cual se obtiene por la interacción natural entre su tasa respiratoria y el intercambio de gases a través del material de envasado (Oliveira et al., 2015).

La mantención de temperaturas adecuadas es indispensable, ya que de ello depende la tasa de difusión de los gases a través de las distintas películas plásticas que se utilizan (Oliveira et al., 2015). Temperaturas por sobre los 5 °C aceleran el deterioro del producto envasado, incrementando su tasa respiratoria, lo que puede traer como consecuencia la transición a metabolismo fermentativo, con la consecuente aparición de olores y sabores desagradables (Albornoz, 2014). Asimismo, los riesgos alimentarios asociados al crecimiento microbiano se ven incrementados durante el transporte del producto envasado a temperaturas superiores a los 5 °C (Brown et al., 2016). Es por ello, que la implementación de métodos de rápida disminución de la temperatura es fundamental para extender la vida útil. Wanakamol et al. (2022) determinaron que el preenfriamiento al vacío en conjunto con envasado en atmósfera modificada, tuvieron un efecto sinérgico al prevenir el pardeamiento enzimático, retardar el crecimiento microbiano y extender la vida útil de 3 a 9 días en lechuga romana y de los cultivares 'Frillice', y 'Red Oak' durante el almacenamiento a 4 °C (Wanakamol et al., 2022).

La concentración óptima de gases para AM dependerá del producto, sus características, y del material de envasado. Por ejemplo, el repollo en tiras se beneficia del almacenamiento entre 3-7%

de O₂ y de 5-15% CO₂; la espinaca de 1-3% de O₂ y de 8-10% CO₂, las lechugas de cabeza de 0,5-3% de O₂ y de 10-15% CO₂; mientras que otras lechugas se deben mantener a niveles de 1-3% de O₂ y de 5-10% CO₂. En todas ellas, se recomienda el almacenamiento entre 0 y 5 °C (Cantwell y Suslow, 2011).

Para crear la atmósfera deseada, existen dos estrategias posibles, el envasado en atmósferas modificadas (EAM) pasivo o activo. En el EAM pasivo, se utiliza la misma respiración del producto, para reducir la concentración de O₂ y aumentar el CO₂, generando un equilibrio al interior del envase. Además, se considera que la película plástica del envase debe ser permeable al intercambio gaseoso entre el tejido del vegetal y el ambiente que rodea al producto, regulando así la composición atmosférica que se desea (Fadiji et al., 2023; Zhang et al., 2015).

En el EAM activo, se trata de sustituir el aire al interior del envase por una mezcla de gases, como CO₂, O₂ y N₂, para luego sellar el envase rápidamente. Si bien tiene costos adicionales, la atmósfera deseada se establece rápidamente. El CO₂ añadido en altas concentraciones posee una acción bacteriostática, especialmente en bacterias Gram negativas, mientras que el O₂ en concentraciones óptimas evita los procesos de anaerobiosis y reduce la respiración del producto. Por otra parte, el N₂ es utilizado como gas de relleno (Zhang et al., 2015).

Al almacenar hojas cortadas de endivia y de lechuga Iceberg en atmósfera modificada en equilibrio (EMA) de 2-3% O₂ y 2-3% de CO₂ a 7°C, el recuento de bacterias del deterioro aumentó en un 50% después de 6-7 días comparado con las muestras control almacenadas al aire. Esto se debió a que la concentración de CO₂ acumulada al interior del envase era muy baja por lo que no cumplió con la función antimicrobiana (Heard, 2002). En otro estudio, muestras prepicadas de endivia, repollo y achicoria fueron inoculadas con *L. innocua* (sustituta de *L. monocytogenes*), envasadas en condiciones de AM de 6% CO₂ y 3% O₂, y luego almacenadas a 4 °C por 7 días. El conteo de bacterias fue de 7,3, 8,5, 6,6 y 6,5 log CFU/g a los 0, 3, 5 y 7 días de almacenamiento, respectivamente (Scifò et al., 2009).

El material de envasado debe poseer características fundamentales para conservar en buen estado el producto. Al momento de escoger el material, se deben considerar factores como la permeabilidad de gases, velocidad de transmisión del vapor de agua, propiedades mecánicas, transparencia, entre otros (Mahajan y Lee, 2023). Dentro de las películas plásticas más utilizadas se encuentran: poliolefinas (polietileno y polipropileno), polímeros compuestos de

vinilo (cloruro de polivinilo (PVC), cloruro de polivinilideno (PVDC) y poliestireno (PS) y poliéster (tereftalato de polietileno (PET), policarbonato (PC) y naftalato de polietileno (PEN) (Al-Ati y Hotchkiss, 2002; Mahajan y Lee, 2023).

En la última década, los envases y cubiertas basadas en biopolímeros han experimentado un activo y dinámico desarrollo, al constituirse como una potencial y sustentable alternativa al uso de plástico (Juikar y Warkar, 2023; Yaashikaa et al., 2023). Entre los polímeros comúnmente utilizados se encuentran los polisacáridos, proteínas, lípidos y compuestos bioactivos (Yaashikaa et al., 2023). Las cubiertas comestibles son delgadas capas de material apto para el consumo humano que se depositan sobre los productos hortofrutícolas, ya sea por inmersión o aspersión (Gaspar y Braga, 2023; Summo y De Angelis, 2022). La aplicación de cubiertas comestibles en base a polisacáridos, como carragenano, quitosano y alginato, lograron reducir el pardeamiento enzimático, además de controlar otros indicadores bioquímicos de deterioro en lechuga prepicada durante el almacenamiento a 4 °C por 15 días (Li et al., 2021). En espinaca, una cubierta elaborada desde concentrado de proteína whey y/o aceite esencial de romero extendió la vida útil de hojas de espinaca, al reducir la pérdida de clorofila y peso fresco, y disminuir el conteo total de microorganismos y coliformes 4 °C por 10 días (Abedi et al., 2021).

Por otra parte, la utilización de envases a base de biopolímeros ha resultado beneficiosa en hortalizas de hoja. Un recipiente hecho de capas de quitosano y alginato dialdeído, usando la técnica de 'capa por capa', presentó mejores propiedades antimicrobianas, antiempañamiento, y de transparencia, logrando reducir la pudrición de lechuga mínimamente procesada y almacenada a 4 ó 25 °C (Li et al., 2020). Bascón-Villegas et al. (2022) envasaron lechuga cortada en bolsas elaboradas con ácido poliláctico, poli (Butilén Adipato-co-Tereftalato), e incorporando diferentes proporciones de nanofibras de lignocelulosa obtenidas de residuos de trigo. Estas bolsas presentaron mejores propiedades ópticas, permeabilidad al vapor de agua y capacidad antioxidante comparadas con envases plásticos comerciales. A su vez, las muestras de lechuga exhibieron superior calidad sensorial comparadas con el control después de ser refrigeradas a 4 °C por 10 días (Bascón-Villegas et al., 2022).

Actualmente, la incorporación de compuestos nanoencapsulados a materiales de envasado es un campo en expansión, con promisorios efectos sobre la calidad y vida en postcosecha

de hortalizas en formato de cuarta gama (de Carvalho y Conte-Junior, 2022)

Si bien, la utilización de AM contribuye a reducir las tasas respiratorias, transpiratorias, y de pardeamiento, para reducir el crecimiento de microorganismos, se necesitará implementar métodos adicionales, como el lavado y uso de sanitizantes.

Lavado y sanitización

La etapa de sanitización corresponde a una de las más fundamentales del procesamiento de cuarta gama, ya que se busca disminuir la carga microbiana través de agentes oxidantes (Wang y Salvi, 2023). Algunos de los más utilizados en la industria son: Hipoclorito de sodio (NaClO), dióxido de cloro (ClO₂), ácido peracético, clorito de sodio acidificado (CSA), ácidos orgánicos, peróxido de hidrógeno (H₂O₂), ozono (O₃) y la luz ultravioleta UV-C. La disminución de la cantidad de microorganismos depende de factores como el pH, temperatura, el tiempo de contacto con el vegetal, materia orgánica presente, la población inicial que se presente, estado del vegetal, entre otros (Escalona et al., 2016).

El NaClO es el desinfectante más utilizado, cuyo efecto es penetrar la pared celular de los microorganismos, alterando las funciones de sus proteínas e inhibiendo sus procesos metabólicos. Su mayor eficacia ocurre a pH de 6,5 a 7 (Baeza et al., 2015). Una desventaja es que reacciona con la materia orgánica, formando compuestos altamente volátiles y potenciales agentes cancerígenos. Las concentraciones utilizadas son de 50 a 200 ppm y tiempo de 1 a 5 min (Galizio y Diaz, 2020)

El ClO₂ es un compuesto con alta eficacia biocida, menos reactivo con la materia orgánica y que tiene una baja reacción con amoníaco, ácido húmico y otros precursores orgánicos que compuestos nocivos (Escalona et al., 2016). Al sumergir hojas de lechuga cortadas del cv. Angustana en 100 mg L⁻¹ de ClO₂ durante 20 minutos, su tiempo de vida aumentó de 4 a 14 días (Chen et al., 2010).

El ácido peracético es efectivo a bajas temperaturas y actúa en un amplio rango de pH entre 1 a 8. Se descompone en poco tiempo, dejando como residuos agua, oxígeno y ácido acético, por lo que no daña al medio ambiente (Kyanko et al., 2010). Se ha demostrado su efectividad frente a *E. coli* y *L. monocytogenes* en concentraciones entre 25 y 300 mg L⁻¹ (Flores et al., 2020).

El CSA es un potente antimicrobiano de amplio espectro. Se recomienda utilizar en concentraciones de 250 a 500 mg L⁻¹ a un pH entre 2-3 por un tiempo de 1 a 5 min (Flores et al., 2020).

La utilización de ácidos orgánicos, como el ácido láctico, cítrico y acético, reduce el ataque microbiano al modificar la permeabilidad de la membrana celular bacteriana y reducir el pH interno (Jaimes Suarez et al., 2013). Además, pueden emplearse como acidulantes para el control de pardeamiento enzimático. Una desventaja, es que requieren de un tiempo de exposición más prolongado comparado con los demás sanitizadores, que varía entre 5 a 15 min, por lo que son comparativamente menos rentables para la industria (Ölmez y Kretschmar, 2009). En un experimento, lechuga Iceberg mínimamente procesada fue inoculada con *E. coli* y *L. monocytogenes*, posteriormente sumergida en ácido láctico al 5% por 2 min. La población inicial de *E. coli* fue de 6,3 log CFU/g, y se redujo a 1,9 log CFU/g luego del tratamiento. Para el caso de *Listeria*, la población inicial fue de 5,2 log CFU/g y se disminuyó a 1,5 log CFU/g (Akbas y Ölmez, 2007).

El H₂O₂ es un oxidante con efecto bactericida de gran alcance que no produce residuos, pero que requiere períodos de tiempo más prolongados para reducir la carga microbiana del producto y posteriormente se debe remover en lavados (Escalona et al., 2016).

El ozono es un gas altamente efectivo para destruir microorganismos, y su utilización presenta algunas ventajas por sobre el NaClO al no formar compuestos cancerígenos, no alterar las propiedades sensoriales del producto ni dejar residuos químicos (Escalona et al., 2019). En hortalizas de cuarta gama suele utilizarse en disolución acuosa. En un tratamiento en lechuga precortada, el conteo inicial de *E. coli* fue de 7,8 log UFC/g. Luego de sumergir las hojas en una solución de agua ozonizada de 10 mg/L durante 5 min, se logró disminuir la población a 1,5 log UFC/g (Aguayo et al., 2017).

La luz ultravioleta (UV) corresponde a radiación no ionizante de longitud de onda entre 100 y 400 nm. El efecto bactericida de esta tecnología ocurre en el rango entre 200 y 280 nm, conocido como luz ultravioleta de onda corta (UV-C), siendo capaz de dañar el ADN del microorganismo, evitando así la replicación y transcripción del material genético de los patógenos, y, por tanto, su potencial reproductivo (Sardar et al., 2023; Wang y Salvi, 2023). Al investigar el uso de diferentes dosis de radiación UV-C en hojas de espinacas baby cortadas, se observó la inhibición del crecimiento microbiano de *L. monocytogenes* durante 14 días a 5 °C, además de la reducción de la carga de *S. enterica*, pero sólo hasta los primeros 4 días de almacenamiento (Escalona et al., 2010).

CONCLUSIONES

Los productos hortofrutícolas de cuarta gama se someten a estrés durante el procesamiento del vegetal, ocasionando tasas elevadas de transpiración, respiración, producción de etileno, y reacciones de pardeamiento enzimático, lo que conlleva a un deterioro acelerado. La utilización de métodos de fraccionamiento que reduzcan la severidad del daño mecánico, así como la mantención de temperaturas bajas (>0 °C) durante el almacenamiento y procesamiento son factores críticos para retrasar los procesos metabólicos y la pérdida de calidad organoléptica.

Dentro de las prácticas de manejo aplicadas en este rubro, se encuentra el envasado en atmósferas modificadas, las cuales deben contener una mezcla de gases adecuada para el producto, que permita la inhibición del pardeamiento enzimático, disminución de la tasa respiratoria y de transpiración. Es importante que el material del envase a utilizar tenga una permeabilidad selectiva a O₂ y CO₂, para impedir problemas indeseados, como fermentación del producto.

Asimismo, se deben monitorear y controlar los puntos de contaminación con microorganismos patógenos, y aplicar métodos de sanitización a lo largo del proceso, lo que reducirá riesgos de inocuidad alimentaria.

El mercado hortofrutícola de cuarta gama en Chile actualmente ha ido en crecimiento. Sin embargo, aún representa un mercado de nicho en el cual hay escasez de información detallada y estadísticas de producción a nivel nacional.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen las valiosas contribuciones al artículo hechas por el Dr. Cristián Jacob (Pontificia Universidad Católica de Chile) y la Dra. Susana Fischer Universidad de Concepción, Chile).

LITERATURA CITADA

Abedi, A., L. Lakzadeh, and M. Amouheydari. 2021. Effect of an edible coating composed of whey protein concentrate and Rosemary essential oil on the shelf life of fresh spinach. *J. Food Process Preserv.* 45 (4). Wiley Online Library: e15284. doi:<https://doi.org/10.1111/jfpp.15284>.

- Aguayo, E., P. Gómez, F. Artés-Hernández y F. Artés. 2017. Tratamientos químicos desinfectantes de hortalizas de IV Gama: Ozono, agua electrolizada y ácido peracético. *Agrociencia (Uruguay)* 21 (1): 7–14. http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?pid=S2301-15482017000100007&script=sci_arttext.
- Akbas, M. Y., and H. Ölmez. 2007. Inactivation of *Escherichia coli* and *Listeria monocytogenes* on iceberg lettuce by dip wash treatments with organic acids. *Lett. Appl. Microbiol.* 44 (6): 619–624. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2007.02127.x>.
- Al-Ati, T., and J. H. Hotchkiss. 2002. Application of packaging and modified atmosphere to fresh-cut fruits and vegetables. In *Fresh-cut fruits and vegetables: Science, Technology, and Market*. O. Lamikanra (ed.), pp: 305–338.
- Alborno, K. 2014. Postharvest characterization of kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala* D.C.): A study of the impact of leaf maturity, fresh-cut preparation and storage conditions. University of California, Davis. <https://www.proquest.com/docview/1558183963?pq-origsite=scholar&fromopenview=true>.
- Ali, S., A. Tyagi, and H. Bae. 2023. Plant microbiome: An ocean of possibilities for improving disease resistance in plants. *Microorganisms* 11 (2): 392. doi:<https://doi.org/10.3390/microorganisms11020392>.
- Amthor, J. S. 2023. ATP yield of plant respiration: Potential, actual and unknown. *Ann Bot.* Oxford University Press US, mcad075. doi:<https://doi.org/10.1093/aob/mcad075>.
- De Ancos, B., D. González-Peña, C. Colina-Coca y C. Sánchez-Moreno. 2015. Uso de películas/recubrimientos comestibles en los productos de IY y V Gama. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 16 (1): 8–17. <https://www.redalyc.org/pdf/813/81339864002.pdf>.
- Ansah, F., Amodio, De Chiara, and Colelli. 2018. Effects of equipments and processing conditions on quality of fresh-cut produce. *Journal of Agricultural Engineering* 49 (3): 139–150. doi:<https://www.agroengineering.org/index.php/jae/article/view/827/686>.
- Ansah, F., Amodio, and Colelli. 2018. Quality of fresh-cut products as affected by harvest and postharvest operations. *J. Sci. Food Agric.* 98 (10): 3614–3626. doi:<https://doi.org/10.1002/jsfa.8885>.
- Arienzo, A., L. Murgia, I. Fraudentali, V. Gallo, R. Angelini, and G. Antonini. 2020. Microbiological quality of ready-to-eat leafy green salads during shelf-life and home-refrigeration. *Foods* 9(10). 1421:1-11. Multidisciplinary Digital Publishing Institute: 1421. doi:10.3390/FOODS9101421.
- Artés, F. 2006. El envasado en atmósfera modificada mejora la calidad de consumo de los productos hortofrutícolas intactos y mínimamente procesados en fresco. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 7 (2): 61–85. <https://www.redalyc.org/pdf/813/81370202.pdf>.
- Ayala-Zavala, J. F., L. Del-Toro-Sánchez, E. Alvarez-Parrilla, and G. A. González-Aguilar. 2008. High relative humidity in-package of fresh-cut fruits and vegetables: Advantage or disadvantage considering microbiological problems and antimicrobial delivering systems? *J. Food Sci.* 73 (4): R41–R47. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2008.00705.x>.
- Bae, Y.-J., K.-W. Yu, and K.-H. Lee. 2022. Consumption and satisfaction with fresh-cut produce in Korean adults. *The Korean Journal of Food and Nutrition* 35 (2): 150–158. doi:<https://doi.org/10.9799/ksfan.2022.35.2.150>.
- Baeza, A., A. C. Silveira y V. Escalona. 2015. Empleo de radiación UV-C como método de desinfección para la elaboración de rúcula (*Eruca sativa* Mill.) mínimamente procesada. *Agrociencia (Uruguay)* 19 (2): 26–35. http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?pid=S2301-15482015000200004&script=sci_arttext.
- Balaguera-López, H. E., F. A. Salamanca-Gutiérrez, J. C. García y A. Herrera-Arévalo. 2014. Etileno y Retardantes de la maduración en la poscosecha de productos agrícolas. Una Revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 8 (2): 302–313. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2011-21732014000200012.
- Barry-Ryan, C., and D. O'Beirne. 1999. Ascorbic acid retention in shredded iceberg lettuce as affected by minimal processing. *J. Food Sci.* 64 (3): 498–500. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1999.tb15070.x>.
- Bascón-Villegas, I., M. Pereira, E. Espinosa, M. Sánchez-Gutiérrez, A. Rodríguez, and F. Pérez-Rodríguez. 2022. A new eco-friendly packaging system incorporating lignocellulose nanofibres from agri-food residues applied to fresh-cut lettuce. *J. Clean. Prod.* 372. Elsevier: 133597. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133597>.
- Bolívar, A., M. J. Saiz-Abajo, R. M. García-Gimeno, E. Petri-Ortega, M. Díez-Leturia, D. González, A. I. Vitas, and F. Pérez-Rodríguez. 2023. Cross contamination of *Escherichia coli* O157:H7 in fresh-cut leafy vegetables: Derivation of a food safety objective and other risk management metrics. *Food Control* 147 (May). Elsevier: 109599. doi:10.1016/j.FOODCONT.2022.109599.

- Bonasia, A., G. Conversa, C. Lazzizzera, and A. Elia. 2023. Harvest and post-harvest performance of autumn-winter butterhead lettuce as affected by nitrogen and azoxystrobin application. *Agronomy* 13 (1). MDPI: 222. doi:<https://doi.org/10.3390/agronomy13010222>.
- Brown, W., E. Ryser, L. Gorman, S. Steinmaus, and K. Vorst. 2016. Transit temperatures experienced by fresh-cut leafy greens during cross-country shipment. *Food Control* 61. Elsevier: 146–155. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.09.014>.
- Cantwell, M. I., K. Albornoz, and G. Hong. 2017. Ammonia accumulation is a useful indicator of the postharvest freshness and quality of spinach and kale. In VI International Conference Postharvest Unlimited 1256, 303–310. doi:<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1256.42>.
- Cantwell, M. I., A. A. M. Melo, G. Hong, and S. Klose. 2015. Quality of waterjet-and blade-cut romaine salad. In III International Conference on Fresh-Cut Produce: Maintaining Quality and Safety 1141, 153–158. doi:<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1141.17>.
- Cantwell, M., and R. F. Kasmire. 2002. Postharvest handling systems: Flower, leafy, and stem vegetables. In *Postharvest Technology of Horticultural Crops*, edited by A. A. Kader. Oakland, CA: University of California Agriculture and Natural Resources.
- Cantwell, M., and T. Suslow. 2011. Fresh-cut fruits and vegetables: Aspects of physiology, preparation and handling that affect quality. In *Annual Workshop Fresh-Cut Products: Maintaining Quality and Safety*, 5:1–22. University of California Davis.
- de Carvalho, A. P. A., and C. A. Conte-Junior. 2022. Nanoencapsulation application to prolong postharvest shelf life. *Curr. Opin. Biotechnol.* 78. Elsevier: 102825. doi:<https://doi.org/10.1016/j.copbio.2022.102825>.
- Centers for Disease Control and Prevention. 2010. The CDC Guide to fruit & vegetable. strategies to increase access, availability and consumption. Atlanta, Georgia: U.S. Department of Health and Human Services. <http://www.cdph.ca.gov/SiteCollectionDocuments/StratstoIncreaseFruitVegConsumption.pdf>.
- Chen, Y., Y. Zhang, and Y. Guo. 2023. Self-Adaptive Stage: An extremely important, but neglected stage for cut-harvest fruit and vegetables. *Journal of Food Measurement and Characterization*. Springer, 1–11. doi:<https://doi.org/10.1007/s11694-023-01841-8>.
- Chen, Z., C. Zhu, Y. Zhang, D. Niu, and J. Du. 2010. Effects of aqueous chlorine dioxide treatment on enzymatic browning and shelf-life of fresh-cut asparagus lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Postharvest Biol. Technol.* 58 (3): 232–238. doi:<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2010.06.004>.
- Chung, H.-S., M.-C. Jeong, and K.-D. Moon. 2012. Effects of cutting methods on qualities of fresh-cut apples and leafy vegetables. *Korean Journal of Food Preservation* 19 (2): 173–177. doi:<https://doi.org/10.11002/kjfp.2012.19.2.173>.
- Cocetta, G., and A. Natalini. 2022. Ethylene: management and breeding for postharvest quality in vegetable crops. A Review. *Front Plant Sci* 13 (November). *Frontiers Media S.A.*: 968315. doi:10.3389/FPLS.2022.968315/BIBTEX.
- De Corato, U. 2020. Improving the shelf-life and quality of fresh and minimally-processed fruits and vegetables for a modern food industry: A comprehensive critical Review from the traditional technologies into the most promising advancements. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 60 (6): 940–975. doi:<https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1553025>.
- Cortés-Higareda, M., P. Landa-Salgado, M. Hernández-López, S. Bautista-Baños y R. I. Ventura-Aguilar. 2021. Bacterias patógenas de los alimentos agrícolas frescos y mínimamente procesados. Estado actual en el control del género *Salmonella*. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 22 (1). <https://www.redalyc.org/journal/813/81367929003/html/>
- Crang, R., S. Lyons-Sobaski, and R. Wise. 2018. *Plant Anatomy: A Concept-Based Approach to the Structure of Seed Plants*. Springer.
- Cuggino, S. G., G. Posada-Izquierdo, I. Bascón Villegas, M. G. Theumer, and F. Pérez-Rodríguez. 2023. Effects of chlorine and peroxyacetic acid wash treatments on growth kinetics of *Salmonella* in fresh-cut lettuce. *Food Research International* 167 (May). Elsevier: 112451. doi:10.1016/J.FOODRES.2022.112451.
- Deza-Durand, K. M., and M. A. Petersen. 2011. The effect of cutting direction on aroma compounds and respiration rate of fresh-cut iceberg lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Postharvest Biol. Technol.* 61 (1): 83–90. doi:<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.02.011>.
- Duan, Y., G. B. Wang, O. A. Fawole, P. Verboven, X. R. Zhang, D. Wu, U. L. Opara, B. Nicolai, and K. Chen. 2020. Postharvest Precooling of Fruit and vegetables: A Review. *Trends Food Sci. Technol.* 100 (June). Elsevier: 278–291. doi:10.1016/J.TIFS.2020.04.027.

- Dubey, N., S. Chitranshi, S. K. Dwivedi, and A. Sharma. 2023. Postharvest physiology, value chain advancement, and nanotechnology in fresh-cut fruits and vegetables. *Nanotechnology Horizons in Food Process Engineering: Volume 3: Trends, Nanomaterials, and Food Delivery*. CRC Press, 99.
- Escalona, V., J. Correa y A. González. 2019. manejo postcosecha de tomates y pimientos frescos y de IV Gama. V. Escalona, J. Correa, and A. González (eds.). *Serie Ciencias Agronómicas*. Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/175675/Manejo-postcosecha-de-tomates-y-pimientos-fresco.pdf?sequence=1>.
- Escalona, V., A. Machuca y C. Inostroza. 2016. Tratamientos químicos para la sanitización de hortalizas IV Gama. *Simiente* 86 (1-2): 31-42. <https://www.bibliotecahorticultura.com/publicaciones/poscosecha/tratamientos-quimicos-para-la-sanitizacion-de-hortalizas-iv-gama/>.
- Escalona, Víctor H, E. Aguayo, G. B. Martínez-Hernández, and F. Artés. 2010. UV-C doses to reduce pathogen and spoilage bacterial growth in vitro and in baby spinach. *Postharvest Biol. Technol.* 56 (3): 223-231. doi:<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2010.01.008>.
- Escalona, V.H. 2017. Uso de envasado en atmósfera modificada en los productos de IV y V gama. *Agrociencia (Uruguay)* 21 (2): 1-6. http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?pid=S2301-15482017000200001&script=sci_arttext.
- Fadji, T., M. Rashvand, M. O. Daramola, and S. A. Iwarere. 2023. A Review on antimicrobial packaging for extending the shelf life of food. *Processes* 11 (2). MDPI: 590. doi:<https://doi.org/10.3390/pr11020590>.
- Farias, A. C. 2014. evaluación del riesgo de la población de querétaro a la exposición de *Salmonella* spp. y *Shigella* spp. por consumo de hortalizas crudas. Universidad Autónoma de Querétaro. <http://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/947>.
- Fernández, J. L. U. 2013. El cambio climático: sus causas y efectos medioambientales. *Anales de La Real Academia de Medicina y Cirugía de Valladolid*, no. 50: 71-98. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4817473>.
- Flores, M., E. González y V. Escalona. 2020. Uso de atmósferas modificadas en los productos de IV Gama. Universidad de Chile, Centro de Estudios Postcosecha. <http://www.microhortalizas.uchile.cl/fichas.html>.
- Furche, C. y H. Martínez. 2011. Identificación y análisis de las fortalezas y restricciones del crecimiento agroalimentario chileno al Año 2017. Edited by ODEPA. <https://www.odepa.gob.cl/publicaciones/documentos-e-informes/estudio-identificacion-y-analisis-de-las-fortalezas-y-restricciones-del-crecimiento-agroalimentario-chileno-al-año-2017>.
- Galizio, R., and K. Diaz. 2020. Technology of horticultural products: minimally processed vegetables (IV Gama) Tecnología de los productos hortofrutícolas: Hortalizas mínimamente procesadas (IV Gama). *Horticultura Argentina* 39 (100): 189-218. <https://www.horticulturaar.com.ar/es/articulos/tecnologia-de-los-productos-hortofruticolas-hortalizas-minimamente-procesadas-iv-gama.html>.
- Gaspar, M. C., and M. E. M. Braga. 2023. Edible films and coatings based on agrifood residues: A new trend in the food packaging research. *Curr. Opin. Food Sci.* 50. Elsevier: 101006. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cofs.2023.101006>.
- Gavilanes Vaca, A. C. 2020. evaluación del desarrollo de mercado de productos hortícolas de Cuarta Gama en base a adaptaciones en el proceso, envasado y empaque en el Cantón Ibarra. Universidad Técnica del Norte. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10803>.
- Giannakourou, M. C., and T. N. Tsironi. 2021. Application of processing and packaging hurdles for fresh-cut fruits and vegetables preservation. *Foods* 10 (4): 830. doi:<https://doi.org/10.3390/foods10040830>.
- Gil, M. I., and Y. Garrido. 2020a. Leafy vegetables: Fresh and fresh-cut mature spinach. In *Controlled and modified atmospheres for fresh and fresh-cut produce*. M. I. G. R. Beaudry (ed.). pp. 551-555. Elsevier. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804599-2.00046-6>.
- Gil, M. I., and Y. Garrido. 2020b. Leafy vegetables: Fresh and fresh-cut mature spinach. controlled and modified atmospheres for fresh and fresh-cut produce. January. Academic Press: 551-555. doi:10.1016/B978-0-12-804599-2.00046-6.
- Gonzalez-Aguilar, G. A., A. A. Kader, J. K. Brecht, and P. M. A. Toivonen. 2011. Fresh-cut tropical and subtropical fruit products. In *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits*: 381-419e. Elsevier. doi:<https://doi.org/10.1533/9780857093622.381>.

- Gullino, M. L., G. Gilardi, and A. Garibaldi. 2019. Ready-to-eat salad crops: A plant pathogen's heaven. *Plant Dis.* 103 (9): 2153–2170. doi:<https://doi.org/10.1094/PDIS-03-19-0472-FE>.
- Hamdan, N., C. H. Lee, S. L. Wong, C. E. N. C. A. Fauzi, N. M. A. Zamri, and T. H. Lee. 2022. Prevention of enzymatic browning by natural extracts and genome-editing: A review on recent progress. *Molecules* 27 (3): 1101. doi:<https://doi.org/10.3390/molecules27031101>.
- Hasanuzzaman, M., M. Zhou, and S. Shabala. 2023. How does stomatal density and residual transpiration contribute to osmotic stress tolerance? *Plants* 12 (3): 494. Multidisciplinary Digital Publishing Institute: 494. doi:[10.3390/PLANTS12030494](https://doi.org/10.3390/PLANTS12030494).
- He, Y., J. Wang, R. Zhang, L. Chen, H. Zhang, X. Qi, and J. Chen. 2023. Epidemiology of foodborne diseases caused by *Salmonella* in Zhejiang Province, China, between 2010 and 2021. *Front Public Health* 11. *Frontiers*: 1127925. doi:<https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1127925>.
- Heard, G. M. 2002. Microbiology of fresh-cut produce. In *Fresh-cut fruits and vegetables: Science, Technology, and Market*. O. Lamikanra (ed.). p: 187–249. CRC Press.
- Holcroft, D. 2015. Water relations in harvested fresh produce. Postharvest Education Foundation. <http://www.postharvest.org/Water%20relations%20PEF%20white%20paper%20FINAL%20MAY%202015.pdf>.
- Huang, S.-J., S.-Y. Lin, T.-T. Wang, and F.-C. Hsu. 2020. Combining acetic acid and ethanol as an anti-browning treatment for lettuce butt discoloration through repression of the activity and expression of phenylalanine ammonia lyase. *Postharvest Biol. Technol.* 164: 111151. doi:<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111151>.
- Jaimes Suarez, S., L. Gómez Álvarez, and J. Montes Álvarez. 2013. Evaluación de un producto a base de ácidos orgánicos frente a *E. coli* y *Salmonella* spp, en la desinfección de lechuga fresca. *Alimentos Hoy* 22 (29): 20–32. <https://www.redalyc.org/pdf/695/69525875004.pdf>.
- Juikar, S. K., and S. G. Warkar. 2023. Biopolymers for packaging applications: An overview. *Packaging Technology and Science* 36 (4). John Wiley & Sons, Ltd: 229–251. doi:[10.1002/PTS.2707](https://doi.org/10.1002/PTS.2707).
- Kader, A. 2002a. Postharvest biology and technology: An overview. In *postharvest technology for horticultural crops*. Adel Kader (ed.). p. 39–47. Oakland, CA: UCANR.
- Kader, A. 2002b. Modified atmospheres during transport and storage. In *Postharvest technology for horticultural crops*. Adel Kader (ed.). p. 135–144. Oakland, CA: UCANR.
- Koukounaras, A., F. Bantis, N. Karatolos, C. Melissas, and A. Vezyroglou. 2020. Influence of pre-harvest factors on postharvest quality of fresh-cut and baby leafy vegetables. *Agronomy* 10(2): 172. Multidisciplinary Digital Publishing Institute: 172. doi:[10.3390/AGRONOMY10020172](https://doi.org/10.3390/AGRONOMY10020172).
- Kumar, A., and B. K. Singh. 2023. Pre-harvest treatments affecting the post-harvest quality of fresh produce. *Postharvest Management of Fresh Produce*, January. Academic Press: 1–17. doi:[10.1016/B978-0-323-91132-0.00008-3](https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91132-0.00008-3).
- Kyanko, M. V., M. L. Russo, M. Fernández y G. Pose. 2010. Efectividad del ácido peracético sobre la reducción de la carga de esporas de mohos causantes de pudrición poscosecha de frutas y hortalizas. *Información Tecnológica* 21 (4): 125–130. https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642010000400016&script=sci_arttext&tlng=en.
- Landi, M., D. Remorini, R. Massai, A. Pardossi, and L. Guidi. 2015. Thirty years of fresh-cut: Strengths and weaknesses of a successful product. *Agrochimica* 59 (1). doi:<https://doi.org/10.12871/0021857201511>.
- Li, L., P. Yi, C. Li, M. Xin, J. Sun, X. He, J. Sheng, Z. Zhou, F. Zheng, and J. Li. 2021. Influence of polysaccharide-based edible coatings on enzymatic browning and oxidative senescence of fresh-cut lettuce. *Food Sci. Nutr.* 9 (2). Wiley Online Library: 888–899. doi:<https://doi.org/10.1002/fsn3.2052>.
- Li, Y., X. Sun, T. Min, Z. Zhu, and Y. Wen. 2020. Preparation of antifogging and enhanced antimicrobial biopolymer coating and its applications in lettuce preservation. *LWT* 133. Elsevier: 109941. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109941>.
- Mahajan, P. V., and D. S. Lee. 2023. Modified atmosphere and moisture condensation in packaged fresh produce: Scientific Efforts and Commercial Success. *Postharvest Biol. Technol.* 198. Elsevier: 112235. doi:<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2022.112235>.
- Mampholo, B. M., D. Sivakumar, and A. K. Thompson. 2016. maintaining overall quality of fresh traditional leafy vegetables of Southern Africa during the postharvest Chain. *Food Reviews International* 32 (4). Taylor & Francis: 400–416. doi:[10.1080/87559129.2015.1094817](https://doi.org/10.1080/87559129.2015.1094817).

- Martínez, J., A. Chiesta, and F. Tovar. 2005. Respiration rate and ethylene production of fresh cut lettuce as affected by cutting grade. *Agricultural and Food Science* 14 (4): 354–361. doi:<https://doi.org/10.2137/145960605775897669>.
- Matiacevich, S., N. Riquelme y C. Arancibia. 2016. Perspectivas de las tecnologías aplicadas en productos IV-Gama. *Contribuciones Científicas y Tecnológicas* 41. <https://www.revistas.usach.cl/ojs/index.php/contribuciones/article/view/2614/0>.
- Meloni, M. P., F. Piras, G. Siddi, D. Cabras, E. Comassi, R. Lai, O. McAuliffe, E. P. L. De Santis, and C. Scarano. 2023. Comparison of activity of commercial protective cultures and thermophilic lactic acid bacteria against *Listeria monocytogenes*: A new perspective to improve the safety of Sardinian PDO cheeses. *FOODS*12(6): 1182. Multidisciplinary Digital Publishing Institute: 1182. doi:10.3390/FOODS12061182.
- Miceli, A., R. Gaglio, N. Francesca, A. Ciminata, G. Moschetti, and L. Settanni. 2019. Evolution of shelf life parameters of ready-to-eat escarole (*Cichorium endivia* var. *Latifolium*) subjected to different cutting operations. *Sci. Hortic.* 247: 175–183. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.12.023>.
- Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. 2021. Informe del consumo de alimentación en España 2020. España: Secretaría General Técnica. Centro de Publicaciones. https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/temas/consumo-tendencias/informe-anual-consumo-2020-v2-nov2021-baja-res_tcm30-562704.pdf.
- Mulaosmanovic, E., T. U. T. Lindblom, S. T. Windstam, M. Bengtsson, A. K. Rosberg, L. Mogren, and B. W. Alsanius. 2021. Processing of leafy vegetables matters: Damage and microbial community structure from field to bag. *Food Control* 125: 107894. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.107894>.
- Muñoz, C. 2021. Hortalizas de nicho: Una oportunidad que no hay que desaprovechar. *Redagrícola*. <https://www.redagricola.com/cl/hortalizas-de-nicho-una-oportunidad-que-no-hay-que-desaprovechar/>.
- Myszka, K., M. T. Schmidt, M. Majcher, W. Juzwa, and K. Czaczyk. 2017. β -caryophyllene-rich pepper essential oils suppress spoilage activity of *Pseudomonas fluorescens* KM06 in fresh-cut lettuce. *LWT-Food Science and Technology* 83: 118–126. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.05.012>.
- Oliveira, M., M. Abadias, J. Usall, R. Torres, N. Teixidó, and I. Viñas. 2015. Application of modified atmosphere packaging as a safety approach to fresh-cut fruits and vegetables—A Review. *Trends Food Sci. Technol.* 46 (1): 13–26. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.07.017>.
- Ölmez, H., and U. Kretzschmar. 2009. Potential alternative disinfection methods for organic fresh-cut industry for minimizing water consumption and environmental impact. *LWT-Food Science and Technology* 42 (3): 686–693. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.08.001>.
- Pefaur, J. 2014. IV Gama, una industria alimentaria en crecimiento. Edited by ODEPA. <https://www.odepa.gob.cl/publicaciones/articulos/iv-gama-una-industria-alimentaria-en-crecimiento-diciembre-de-2014>.
- Peng, H., and I. Simko. 2023. Extending lettuce shelf life through integrated technologies. *Curr. Opin. Biotechnol.* 81. Elsevier: 102951. doi:<https://doi.org/10.1016/j.copbio.2023.102951>.
- Peng, H., J. Sthapit Kandel, R. W. Micheltmore, and I. Simko. 2020. Identification of factors affecting the deterioration rate of fresh-cut lettuce in modified atmosphere packaging. *Food Bioproc. Tech.* 13 (11). Springer: 1997–2011. doi:<https://doi.org/10.1007/s11947-020-02538-2>
- Prasad, K., S. K. Singh, P. Bhattocharjee, J. Rudrapaul, U. Kumar, S. K. Yadav, S. Maurya, and A. Mani. 2023. Impact of climate change on postharvest quality of vegetables. In *Advances in Research on Vegetable Production Under a Changing Climate* 2:341–363. Springer.
- Qadri, O. S., B. Yousuf, and A. K. Srivastava. 2015. Fresh-cut fruits and vegetables: critical factors influencing microbiology and novel approaches to prevent microbial risks—A Review. *Cogent. Food Agric.* 1 (1): 1121606. doi:<https://doi.org/10.1080/23311932.2015.1121606>
- Rodríguez, S., D. Gutiérrez y S. Sgroppo. 2015. Productos vegetales de IV Gama. Aspectos Generales. *Simiente* 85 (1–2): 1–12. <http://hdl.handle.net/11336/72766>
- Saini, R. K., E. Y. Ko, and Y.-S. Keum. 2017. Minimally processed ready-to-eat baby-leaf vegetables: Production, processing, storage, microbial safety, and nutritional potential. *Food Reviews International* 33 (6). Taylor & Francis: 644–663. doi:<https://doi.org/10.1080/87559129.2016.1204614>

- Salas, C. 2017. Antecedentes de mercado de los cultivos de hortalizas de hoja (lechuga, espinaca y acelga). A. Correa, C. Quiroz, P. Sepúlveda, C. Salas, S. Moyano, S. Elgueta y C. Astudillo (eds.). Fortalecimiento de la inocuidad en hortalizas de hoja. Estrategias de manejo fitosanitario en lechuga, acelga y espinaca. INIA La Platina. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/6596>
- Sardar, N. R., A. M. Patel, M. Tiwari, J. P. Rathod, and G. P. Tagalpallewar. 2023. Ultraviolet light food processing: A mini concept. *Emergent Life Sciences Research*. doi:<https://doi.org/10.31783/elsr.2023.914953>
- Schudel, S., K. Shoji, C. Shrivastava, D. Onwude, and T. Defraeye. 2023. Solution roadmap to reduce food loss along your postharvest supply chain from farm to retail. doi:10.1016/j.fpsl.2023.101057
- Sifó, G. O., C. L. Randazzo, C. Restuccia, G. Fava, and C. Caggia. 2009. *Listeria innocua* growth in fresh cut mixed leafy salads packaged in modified atmosphere. *Food Control* 20 (7): 611–617. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2008.08.017>
- Shoja Gharehbagh, S., A. Akhondzadeh Basti, A. Khanjari, and A. Misaghi. 2023. Evaluating the growth potential of *Listeria monocytogenes* in ready to eat vegetables. *Journal of Food Biosciences and Technology* 13 (1). Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran: 23–32. doi:<https://doi.org/10.30495/JFBT.2022.61634.10274>
- Silveira, A. C. 2017. Uso de aditivos y métodos físicos para mantener la calidad de los productos de IV Gama o mínimamente procesados. *Agrociencia (Uruguay)* 21 (1): 1–6. http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2301-15482017000100001
- Singh, B., K. Suri, K. Shevkani, A. Kaur, A. Kaur, and N. Singh. 2018. Enzymatic browning of fruit and vegetables: A Review. *Enzymes in Food Technology: Improvements and Innovations*, November. Springer Singapore, 73–78. doi:10.1007/978-981-13-1933-4_4/FIGURES/1.
- Singla, G., K. Chaturvedi, and P. P. Sandhu. 2020. Status and recent trends in fresh-cut fruits and vegetables. In *Fresh-Cut Fruits and Vegetables*, 17–49. Elsevier. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816184-5.00002-1>
- Summo, C., and D. De Angelis. 2022. The importance of edible films and coatings for sustainable food development. *Foods*. MDPI. doi:<https://doi.org/10.3390/foods11203221>
- Tapia, C., N. Moscoso, C. Vasco y S. Valencia-Chamorro. 2015. Cambios metabólicos y fisiológicos en los productos de IV y V Gama. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 16 (1): 1–7. <https://www.redalyc.org/pdf/813/81339864001.pdf>
- Toivonen, P. M. A., and J. R. DeEll. 2002. Physiology of fresh-cut fruits and vegetables. In *Fresh-Cut Fruits and Vegetables*. CRC Press, Boca Raton, FL, 91–123.
- Tomás-Callejas, A., G. López-Velasco, A. B. Camacho, F. Artés, F. Artés-Hernández, and T. V Suslow. 2011. Survival and distribution of *Escherichia coli* on diverse fresh-cut baby leafy greens under preharvest through postharvest conditions. *Int. J. Food Microbiol.* 151 (2). Elsevier: 216–222. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2011.08.027>
- Universidad de Chile, F. de C. A. 2021. CEPOC realiza día de campo sobre cultivo intensivo hortícola. <https://agronomia.uchile.cl/noticias/182531/cepoc-realiza-dia-de-campo-sobre-cultivo-intensivo-horticola>
- USDA. 2014. Japan: Japanese fresh-cut vegetable market—recent changes and implications. Edited by F. A. Service. <https://www.fas.usda.gov/data/japan-japanese-fresh-cut-vegetable-market-recent-changes-and-implications>
- Velderrain-Rodríguez, G. R., A. E. Quirós-Sauceda, G. A. González Aguilar, M. W. Siddiqui, and J. F. Ayala Zavala. 2015. Technologies in fresh-cut fruit and vegetables. In *Minimally Processed Foods: Technologies for Safety, Quality, and Convenience*, edited by M. W. Siddiqui and M. S. Rahman, 79–103. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-319-10677-9_5
- Volpe, S., P. V Mahajan, G. Rux, S. Cavella, and E. Torrieri. 2018. Condensation and moisture regulation in packaged fresh-cut iceberg lettuce. *J. Food Eng.* 216: 132–137. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.08.015>
- Wanakamol, W., P. Kongwong, C. Chuamuangphan, D. Bundhurat, D. Boonyakiat, and P. Poonlarp. 2022. Hurdle approach for control of enzymatic browning and extension of shelf life of fresh-cut leafy vegetables using vacuum precooling and modified atmosphere packaging: Commercial application. *Horticulturae* 8(8):745. Multidisciplinary Digital Publishing Institute: 745. doi:10.3390/HORTICULTURAE8080745.
- Wang, L., and M. Teplitski. 2023. Microbiological food safety considerations in shelf-life extension of fresh fruits and vegetables. *Curr. Opin. Biotechnol.* 80: 102895. doi:<https://doi.org/10.1016/j.copbio.2023.102895>

- Wang, Q., and D. Salvi. 2023. Postharvest sanitation of produce with conventional and novel technologies. In *The Produce Contamination Problem*, 299–333. Elsevier.
- Wiley, R. C. 2017. Preservation methods for minimally processed refrigerated fruits and vegetables. In *Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables*, Wiley, R.C., 187–237.
- Witkowska, I. M. 2013. Factors affecting the postharvest performance of fresh-cut lettuce. Wageningen University. <https://www.proquest.com/docview/2564079789?pq-origsite=gscholar&fromopenview=true>.
- Wulfkuehler, S., S. Stark, J. Dietz, H. Schmidt, A. Weiss, and R. Carle. 2014. Effect of water jet cutting and moderate heat treatment on quality of fresh-cut red oak leaf lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *Crispa*). *Food Bioproc. Tech.* 7: 3478–3492. doi:<https://doi.org/10.1007/s11947-014-1360-4>.
- Yaashikaa, P. R., R. Kamalesh, P. S. Kumar, A. Saravanan, K. Vijayasri, and G. Rangasamy. 2023. Recent Advances in edible coatings and their application in food packaging. *Food Research International* 173. Elsevier: 113366. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113366>.
- Zhang, M., X. Meng, B. Bhandari, Z. Fang, and H. Chen. 2015. Recent application of Modified Atmosphere Packaging (MAP) in fresh and fresh-cut foods. *Food Reviews International* 31 (2). Taylor & Francis: 172–193. doi:<https://doi.org/10.1080/87559129.2014.981826>.
- Zhang, S. 2023. Recent Advances of Polyphenol Oxidases in Plants. *Molecules* 28(5): 2158. doi:<https://doi.org/10.3390/molecules28052158>.