



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E
INDUSTRIAS**

CARRERA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS

**COMPARACIÓN DEL USO DE RADIACION UV-C Y OZONO
SOBRE LA CALIDAD FÍSICOQUÍMICA DE TOMATE DE
ÁRBOL (*Solanum betaceum*) MÍNIMAMENTE PROCESADO**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO DE ALIMENTOS**

CARLO ANTONIO PADILLA TORRES

DIRECTORA: BIOQ. MARÍA JOSÉ ANDRADE

Quito, Octubre 2017

© Universidad Tecnológica Equinoccial. 2017
Reservados todos los derechos de reproducción

FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

PROYECTO DE TITULACIÓN

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	171245934-4
APELLIDO Y NOMBRES:	Padilla Torres Carlo Antonio
DIRECCIÓN:	Nuño de Valderrama N31-111 y San Gabriel
EMAIL:	carlo10088@gmail.com
TELÉFONO FIJO:	02-2435-334
TELÉFONO MOVIL:	0998059238

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Comparación del uso de radiación UV-C y ozono sobre la calidad fisicoquímica de tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i>) mínimamente procesado.
AUTOR O AUTORES:	Padilla Torres Carlo Antonio
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	Octubre, 2017
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	Bioq. María José Andrade Cuvi
PROGRAMA	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniería de Alimentos
RESUMEN: Mínimo 250 palabras	El tomate de árbol es un fruto andino exótico caracterizado por un alto contenido de fibra, vitaminas A y C, minerales y antioxidantes. Se consume principalmente en fresco en forma de jugo. El objetivo de este trabajo de investigación fue evaluar el uso de la radiación UV-C y atmósfera de ozono sobre la calidad fisicoquímica de tomate de árbol mínimamente procesado. Se utilizaron frutos de tomate de árbol de la variedad puntón cosechados en madurez comercial y se sometieron a

dos tipos de pelado: químico (inmersión en NaOH 8 %/1.5 min) y escaldado (inmersión en agua 95 °C/1.5 min). Posteriormente se cortaron en octavos y se dividieron en tres grupos: (1) radiación UV-C con exposición a 6.02 kJ/m²; (2) exposición a una atmósfera de ozono de concentración 1.5 mg/L y (3) frutos sin tratamiento, denominados controles. Se empacaron en bandejas tipo clamshell y se almacenaron en refrigeración (4 °C). A los días 0, 4 y 8 se realizaron análisis fisicoquímicos (pérdida de peso, color, pH, acidez, sólidos solubles, firmeza tasa de respiración y producción de etileno). Se observaron diferencias significativas en los diferentes parámetros de calidad fisicoquímica tanto entre tratamientos, como con la muestra control, evidenciando la influencia la respuesta del tejido vegetal del tomate de árbol mínimamente procesado al estrés producido por el ozono la irradiación UV-C. El tomate de árbol con pelado químico y tratado con UV-C fue el mejor tratamiento para mantener la calidad fisicoquímica al observarse valores más altos de luminosidad, firmeza, pH y con los valores más bajos del porcentaje de pérdida peso. Además se encontró un valor de la concentración de sólidos solubles más bajo. Los resultados muestran que la aplicación de radiación UV-C (6.02 kJ/m²) y ozono gaseoso (1.5 mg/L) posterior al pelado químico son una alternativa de procesamiento para el tomate mínimamente procesado refrigerado asegurando la calidad fisicoquímica durante 8 días.

PALABRAS CLAVES:	tomate de árbol, calidad fisicoquímica, radiación UV-C, ozono
ABSTRACT:	<p>Tree tomato is an exotic Andean fruit characterized by high fiber content, vitamins A and C, minerals and antioxidants. It is mainly consumed in fresh juice. The aim of this research was to evaluate the use of UV-C radiation and ozone gaseous on physicochemical quality of minimally processed tree tomato. "Puntón" variety fruits harvested at commercial maturity were used, which were subjected to two types of peeling: chemical (immersion in NaOH 8 % / 1.5 min) and scalded (immersion in water 95 °C / 1.5 min). They were then cut into octaves and divided into three groups: (1) UV-C radiation with exposure at 6.02 kJ/m²; (2) exposure to an ozone atmosphere with a concentration of 1.5 mg/L and (3) untreated fruits, called controls. They were packaged in clamshell trays and stored in refrigeration (4 °C). At days 0, 4 and 8 physicochemical analyzes were performed (weight loss, color, pH, acidity, soluble solids, firmness, respiration rate and ethylene production). Significant differences were observed in the different parameters of physicochemical quality both between treatments and with the control sample, evidencing the influence of the response of the vegetable tissue of the minimally processed tree tomato to the stress produced by ozone UV-C irradiation. The tree tomato with chemical peeling and treated with UV-C was the best treatment to maintain the physicochemical quality with higher</p>

	values of luminosity, firmness, pH and with the lowest values of weight loss percentage. A lower soluble solids concentration value was also found. The results show that the application of UV-C (6.02 kJ/m ²) and gaseous ozone (1.5 mg/L) after chemical peeling is a processing alternative for the minimally processed chilled tomato ensuring the physicochemical quality during 8 days.
KEYWORDS	tree tomato, physicochemical quality, UV-C irradiation, ozone

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.

f:



Padilla Torres Carlo Antonio

1712459344

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **PADILLA TORRES CARLO ANTONIO**, CI: 1712459344 autor/a del proyecto titulado: **Comparación del uso de radiación UV-C y ozono sobre la calidad fisicoquímica de tomate de árbol (*Solanum betaceum*) mínimamente procesado**, previo a la obtención del título de **INGENIERO DE ALIMENTOS** en la Universidad Tecnológica Equinoccial.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad Tecnológica Equinoccial a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Quito, Octubre del 2017

f.  _____

Padilla Torres Carlo Antonio
1712459344

DECLARACIÓN

Yo **CARLO ANTONIO PADILLA TORRES**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

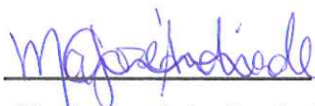
La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.



Carlo Antonio Padilla Torres
C.I. 171245934-4

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título “**COMPARACIÓN DEL USO DE RADIACIÓN UV-C Y OZONO SOBRE LA CALIDAD FISICOQUÍMICA DE TOMATE DE ÁRBOL (*Solanum betaceum*) MÍNIMAMENTE PROCESADO.**”, que, para aspirar al título de **Ingeniero de Alimentos** fue desarrollado por **Carlo Antonio Padilla Torres**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 19, 27 y 28.



Bioq. María José Andrade Cuvi.

DIRECTORA DEL TRABAJO

C.I. 1712338373

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, mi familia y mis amigos, por su apoyo incondicional y motivación a superarme.

A mis compañeros por superar juntos los muchos retos académicos de cada semestre

A mis profesores que fueron la guía en el conocimiento de la ciencia.

A mi Directora de tesis Bioq. María José Andrade por darme la oportunidad de orientarme y desarrollar este fascinante tema

DEDICATORIA

A mi hermano y mis sobrinos que a pesar de estar lejos siempre están presentes.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	3
2. METODOLOGÍA	9
2.1. MATERIAL VEGETAL Y DISEÑO DE EXPERIMENTO	9
2.2. APLICACIÓN DE PRETRATAMIENTOS DE PELADO Y TRATAMIENTOS POSCOSECHA	9
2.3. ANÁLISIS DE COLOR	10
2.4. ANÁLISIS DE PÉRDIDA DE PESO	11
2.5. ANÁLISIS DE FIRMEZA	11
2.6. ANÁLISIS DE pH	11
2.7. ANÁLISIS DE ACIDEZ TITULABLE	12
2.8. ANÁLISIS DE SÓLIDOS SOLUBLES	12
2.9. ANÁLISIS DE TASA DE RESPIRACIÓN Y TASA DE PRODUCCIÓN DE ETILENO	12
2.10. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	13
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	15
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	25
4.1. CONCLUSIONES	25
4.2. RECOMENDACIONES	26
5. BIBLIOGRAFÍA	27
6. ANEXOS	32

ÍNDICE DE TABLAS

PÁGINA

Tabla 1. Variables de pretratamientos de pelado y tratamientos poscosecha	9
Tabla 2. Efecto de la técnica de pelado (escaldado y pelado químico) y de la aplicación de radiación UV-C y atmósfera de ozono como tratamientos poscosecha sobre el color superficial (L^* y b^*) y la variación de color (ΔE^*) de tomate de árbol mínimamente procesado	15
Tabla 3. Comparación de tomate de árbol mínimamente procesado, con escaldado y pelado químico, tratamientos poscosecha UV-C, ozono y muestra control	17
Tabla 4. Efecto de la técnica de pelado (escaldado y pelado químico) y de la aplicación de radiación UV-C y atmósfera de ozono como tratamientos poscosecha sobre la calidad fisicoquímica de tomate de árbol mínimamente procesado	19

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1. Escala de color del tomate de árbol	32
Figura 2. Inmersión del tomate de árbol en solución de NaOH	33
Figura 3. Pelado y cortado de tomate de árbol	33
Figura 4. Inmersión de tomate de árbol pelado y cortado en solución de ácido cítrico y ácido ascórbico	34
Figura 5. Aplicación de tratamiento radiación UV-C con dosis de 6.02 kJ/m ²	35
Figura 6. Aplicación de tratamiento UV-C ozono con dosis de 1.5 ppm por 3 minutos	35

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
ANEXO 1. ESCALA DE COLOR DEL TOMATE DE ÁRBOL	32
ANEXO 2. APLICACIÓN DE PRETRATAMIENTO DE PELADO	33
ANEXO 3. TRATAMIENTOS POSCOSECHA	35

ÍNDICE DE ECUACIONES

	PÁGINA
Ecuación 1. Variación de color (ΔE).	10
Ecuación 2. Pérdida de peso	11
Ecuación 3. Acidez titulable	12
Ecuación 4. Tasa de respiración	13
Ecuación 5. Producción de etileno	13

RESUMEN

El tomate de árbol es un fruto andino exótico caracterizado por un alto contenido de fibra, vitaminas A y C, minerales y antioxidantes. Se consume principalmente en fresco en forma de jugo. El objetivo de este trabajo de investigación fue evaluar el uso de la radiación UV-C y atmósfera de ozono sobre la calidad fisicoquímica de tomate de árbol producto mínimamente procesado. Se utilizaron frutos de tomate de árbol variedad puntón cosechados en madurez comercial y se sometieron a dos tipos de pelado: químico (inmersión en NaOH 8 %/1.5 min) y escaldado (inmersión en agua 95 °C/1.5 min). Posteriormente se cortaron en octavos y se dividieron en tres grupos: (1) radiación UV-C con exposición a 6.02 kJ/m²; (2) exposición a una atmósfera de ozono de concentración 1.5 mg/L y (3) frutos sin tratamiento, denominados controles. Se empacaron en bandejas tipo clamshell y se almacenaron en refrigeración (4 °C). A los días 0, 4 y 8 se realizaron análisis fisicoquímicos (color, pérdida de peso, pH, acidez titulable, sólidos solubles, firmeza, producción de etileno y tasa de respiración). Se observaron diferencias significativas en los diferentes parámetros de calidad fisicoquímica tanto entre tratamientos, como con la muestra control, evidenciando la influencia la respuesta del tejido vegetal del tomate de árbol mínimamente procesado al estrés producido por el ozono y la irradiación UV-C. El tomate de árbol con pelado químico y tratado con UV-C fue el mejor tratamiento para mantener la calidad fisicoquímica al observarse valores más altos de luminosidad, firmeza, pH y con los valores más bajos del porcentaje de pérdida peso. Además se encontró un valor de la concentración de sólidos solubles más bajo. Los resultados muestran que la aplicación de radiación UV-C (6.02 kJ/m²) y ozono gaseoso (1.5 mg/L) posterior al pelado químico son una alternativa de procesamiento para el tomate mínimamente procesado refrigerado asegurando la calidad fisicoquímica durante 8 días.

Palabras claves: tomate de árbol, radiación UV-C, ozono, calidad fisicoquímica,

ABSTRACT

Tree tomato is exotic Andean fruit characterized by high fiber content, vitamins A and C, minerals and antioxidants. It is mainly consumed in fresh juice. The aim of this research was to evaluate the use of UV-C radiation and ozone gaseous on physicochemical quality of minimally processed tree tomato. "Puntón" variety fruits of tree tomato harvested at commercial maturity were used, which were subjected to two types of peeling: chemical (immersion in NaOH 8 %/1.5 min) and scalded (immersion in water 95 °C / 1.5 min). They were then cut into octaves and divided into three groups: (1) UV-C radiation with exposure at 6.02 kJ/m²; (2) exposure to an ozone atmosphere with a concentration of 1.5 mg/L and (3) untreated fruits, called controls. They were packed in clamshell trays and stored in refrigeration (4 °C). At days 0, 4 and 8 days physicochemical analyzes were performed (color, weight loss, pH, titratable acidity, soluble solids, firmness, ethylene production and respiration rate). Significant differences were observed in the different parameters of physicochemical quality both between treatments and with the control sample, evidencing the influence of the response of the vegetable tissue of the minimally processed tree tomato to the stress produced by ozone and UV-C irradiation. The tree tomato with chemical peeling and treated with UV-C was the best treatment to maintain the physicochemical quality with higher values of luminosity, firmness, and pH and with the lowest values of weight loss percentage. A lower soluble solids concentration value was also found. The results show that the application of UV-C (6.02 kJ/m²) and gaseous ozone (1.5 mg/L) after chemical peeling is a processing alternative for the minimally processed chilled tomato ensuring the physicochemical quality during 8 days.

Key words: tree tomato, physicochemical quality, UV-C irradiation, ozone

1. INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

El tomate de árbol (*Solanum betaceum*) es una fruta no climatérica endémica de América del sur. Es un cultivo de importancia comercial en Colombia, Ecuador, Perú y en Nueva Zelanda. En el Ecuador se cultiva en las provincias de Carchi Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo, Bolívar, Cañar, Azuay y Loja. Su comercialización es enteramente absorbida por el mercado local y nacional y una pequeña parte se exporta (Revelo, Pérez, & Maila, n.d.). Esta fruta posee alta aceptación por su agradable sabor, por sus propiedades nutricionales sobresalientes (vitaminas, minerales, y antioxidantes) y por su funcionalidad técnica por el contenido de pectina alto que posee (Márquez, Otero, & Cortés, 2007). Las condiciones recomendadas para el almacenamiento son: temperatura de 3 a 4.5 °C y humedad relativa entre 90-95 % (Márquez et al., 2007). En el Ecuador la agroindustria utiliza al tomate de árbol para producir pulpa, mermelada y tomate de árbol en conserva principalmente.

Por otro lado, los productos mínimamente procesados, o de cuarta gama, son aquellas frutas frescas o vegetales que hayan sido modificadas físicamente de su forma original por procesos como pelado, deshojado, lavado y cortado, para obtener un producto enteramente consumible para su consecuente empaclado y almacenado en refrigeración (Márquez & Pretell, 2013). El desarrollo de la industria de productos mínimamente procesados ha crecido y ganado popularidad paralelamente al crecimiento en la tendencia de consumo de frutas y vegetales frescos debido a la necesidad del consumidor por hábitos alimentarios saludables (Allende et al., 2006). Los productos mínimamente procesados han tenido un rápido crecimiento en el sector de la industria alimentaria, principalmente por la conveniencia que representa al consumidor en el ahorro de tiempos de consumo y preparación de alimentos, y la reducción de la necesidad de recursos para la manipulación alimentos (Allende et al., 2006).

La manipulación de frutas o hortalizas mínimamente procesadas tienen un impacto fisiológico y microbiológico relativo al grado de procesamiento al que son sometidos (Artés, Castañer & Gil, 1998), y su intensidad está definida por la especie y variedad, edad, naturaleza, cantidad, compartimentación, sustratos, actividad de enzimas y disponibilidad de oxígeno (Artés et al., 1998; Artés, Gómez, & Hernández, 2007). En los productos mínimamente procesados los tejidos de la planta sufren daños físicos que los vuelven más perecederos porque se suprime la protección natural de deshidratación y contaminación (epidermis), se destruye la compartimentación interna que separa las enzimas de los sustratos, se aumenta las superficies de contacto entre el producto y la atmósfera, y se libera humedad y nutrientes propicios que consecuentemente generan condiciones ideales para albergar

microorganismos y un deterioro fisiológico más rápido (Belloso & Fortuny, 2011). Se puede lograr un control mediante la aplicación de procesos de producción adicionales como tratamientos térmicos (refrigeración, congelación, calentamiento), acidificación, ósmosis y otras, como la aplicación de radiación UV-C y atmósferas de ozono (Belloso & Fortuny, 2011). La disminución de la temperatura (refrigeración) es la estrategia de manipulación más utilizada ya que reduce de gran manera pérdidas por la disminución de la actividad metabólica, pero no la elimina y el producto continúa experimentando transformaciones que conducen a la senescencia con alteraciones irreversibles que limitan la comercialización de los productos. Según el tipo de producto pueden producirse diferentes reacciones bioquímicas como el pardeamiento enzimático que perjudican la calidad del producto desde un punto de vista organoléptico y nutricional (Artés et al., 1998). Un aumento de control en las etapas de producción primaria es necesario porque es ahí donde existen muchas causas potenciales de contaminación que se pueden adherir fácilmente en el material crudo y pueden ser difíciles de retirar después. Otro punto de consideración en el proceso de producción es la preservación de la frescura por mayor tiempo durante el transporte, distribución, abastecimiento y comercialización porque la inocuidad del alimento debe garantizarse por toda la vida útil del producto (Belloso & Fortuny, 2011).

El uso de métodos clásicos de conservación de frutas como la utilización de agentes químicos (fungicidas) para el control de microorganismos durante la poscosecha se ha disminuido debido a los residuos que se quedan en el producto y los efectos nocivos que pueden afectar a la salud del consumidor. Por otro lado, existen los tratamientos térmicos como otra estrategia de control de microorganismos pero que tienen un impacto significativo en la calidad visual y sensorial del producto provocando pérdidas de color, firmeza y aumento de compuestos bioactivos como fenoles, flavonoides, fitoalexinas, entre otros. Por esas razones en la industria de frutas y hortalizas el área de poscosecha ha puesto interés y recursos en el desarrollo de tecnologías innovadoras enfocadas en el uso de sustancias antifúngicas de origen natural o tratamientos poco invasivos que activen los mecanismos de defensa propios del producto, procurando tener un resultado beneficioso (Xu, 2008).

En este sentido, la radiación UV-C es considerada como una tecnología que tiene la potencialidad de prolongar la vida poscosecha de frutas y hortalizas enteras o mínimamente procesadas (Rivera, Béjar, Martínez, González, & Rivera, 2007). Es un método de conservación con el que se ha obtenido incrementar la vida útil de los productos tratados frenando alteraciones microbiológicas y manteniendo la calidad del producto, tomando en cuenta que la eficacia de esta metodología depende también del cuidado higiénico en el procesamiento para disminuir posibles alteraciones microbiológicas. (Domínguez & Parzanese, n.d.). El desarrollo de diferentes tecnologías

poscosecha en conjunto con métodos de buenas prácticas de manejo del producto permite disminuir pérdidas por alteraciones fisiológicas, ataque de fitopatógenos y daños mecánicos ayudando a mantener la aceptabilidad de la calidad en general (Rivera, Béjar, Martínez, & González, 2007).

La luz ultravioleta es una radiación no ionizante que tiene una longitud de onda entre 100 a 400 nm del espectro electromagnético y está clasificada según su longitud de onda en tres tipos: UV-A(315-400 nm), UV-B (280-315) y UV-C (200-280 nm) (Rivera et al., 2007). La energía radiante entregada a una molécula o microorganismo se la denomina dosis germicida UV entregada o efectiva (Beltrán, Ramos, & Alvarez, 2010)

El estrés abiótico que la radiación UV-C provoca en las plantas depende de la intensidad y longitud de onda, y activa mecanismos de defensa de los tejidos, lo que da como resultado la producción de fitoquímicos, compuestos que al ser acumulados pueden estar seguidos de otros sistemas de defensa inducidos como la modificación de las paredes celulares, síntesis de enzimas de defensa y hasta la muerte celular programada. Dosis bajas de radiación UV causan un daño reversible al ADN que pueden activar mecanismos de reparación provocados por la radiación, estimulando procesos celulares estableciendo una alteración positiva en la homeostasis de alimento tratado, promoviendo la producción de compuestos fungicidas y retrasando procesos de maduración y senescencia, lo que supone una estrategia potencial para reducir las pérdidas poscosecha en el sector hortícola por fitopatógenos, desórdenes fisiológicos, daño por frío, daños mecánicos, pérdida de firmeza, entre los más relevantes (Rivera-Pastrana et al, 2007). Los beneficios que la aplicación UV-C permite hacer que se considere como un tratamiento alternativo para proteger y prolongar la calidad de frutas y hortalizas, debido a que en los periodos de aplicación investigados no se incrementa significativamente la temperatura de los tejidos, tampoco produce alteraciones o favorece a procesos de deterioro del producto, no deja residuos y tampoco afecta las características sensoriales principalmente de sabor y aroma. La susceptibilidad de los tejidos tratados con UV-C varía en función del genotipo, dosis de radiación, trayendo como posible consecuencia la oxidación de compuestos bioactivos o el oscurecimiento superficial del tejido (Rivera-Pastrana et al., 2007). Las propiedades antimicrobianas y antioxidantes son muy apreciadas ya que contribuyen al retraso de la maduración, siendo una potencial reducción de pérdidas económicas por deterioro. Además la formación de compuestos fenólicos bioactivos (ácidos fenólicos, flavonoides), caracterizados por propiedades antiinflamatorias, antihistamínicas y antitumorales incrementan el valor nutricional de productos tratados con UV-C (Beltrán et al., 2010). El tipo de polifenoles, así como su acumulación y mejor mantenimiento durante el almacenamiento es estrechamente dependiente del cultivo y dosis de radiación utilizados (González, Zavaleta, & Hernández, 2007)

Existen particularidades que deben ser tomadas en cuenta en el tratamiento con radiación UV-C en frutas mínimamente procesadas, como los microorganismos que afectan al producto, la intensidad del tratamiento y las diferentes propiedades de los sustratos tratados. La eficiencia del uso de la radiación está muy relacionada con las propiedades del sustrato debido a que variables como la topografía y la hidrofobicidad que afectan la interacción de la luz con las moléculas y también a la distribución de células de microorganismos (Rodríguez & Narcisso, 2012). En la aplicación de tratamiento UV-C se consideraran factores importantes. El primero es la fuente ya que engloba las variables de la longitud de onda, densidad de energía y la duración, número e intervalo de pulsos. La segunda es el objeto del cual incidirá la transparencia del producto, el color, el tamaño y la superficie. Un uso ineficiente del tratamiento UV-C tiene como consecuencia un incremento de temperatura causando daño térmico o reacciones fotoquímicas no deseadas en el producto (Rodríguez & Narcisso, 2012).

Briceño et al (2008) evaluaron los efectos del tratamiento UV-C en la tasas de respiración y en las enzimas relacionadas con el pardeamiento enzimático en mangos irradiados por 5, 10 y 20 minutos almacenados a 5 °C y reportaron que el tratamiento UV-C reduce hasta un 32 % los efectos de daño por frío. En otro estudio con sandía mínimamente procesada tratada con UV-C en dosis 1.6 y 2.8 kJ/m² almacenada a 5 °C reporto tener una mejor calidad en los parámetros de color, firmeza y tasa de respiración (Artés, Robles, Gómez, Callejas & Artés, 2010). Estudios en aplicación de UV-C en lechuga demuestran la efectividad de la irradiación como tratamiento para la reducción de deterioro microbiológico y retención de la calidad definida por la dosis y las características generales de la superficie de exposición. La aplicación de dosis elevadas puede producir cambios indeseables de calidad como ablandamiento del tejido y pardeamiento (Allende, McEvoy, Luo, Artés, & Wang, 2006).

Otra tecnología con un amplio rango de aplicaciones en la industria alimenticia es el ozono (acuoso o gaseoso) utilizado para la descontaminación de superficies, sanitación de equipos y tratamiento de aguas. El ozono es caracterizado por su alto potencial de oxidación que le confiere propiedades bactericidas considerablemente más rápidas para inactivar microorganismos mediante la oxidación, con la particular ventaja de descomponerse espontáneamente a oxígeno, sin dejar residuos nocivos de degradación, haciéndolo un agente potencial para garantizar la seguridad microbiológica y calidad de un alimento procesado de manera limpia, segura y eficiente, sin contaminar el ambiente. La seguridad microbiológica es de importancia primordial en la industria de alimentos mínimamente procesados frescos y el ozono ha sido examinado como una tecnología sanitizante alternativa. La aplicación de ozono en frutas se obtiene ya sea lavando con una solución de

agua con ozono o la aplicación de ozono gaseoso durante el almacenamiento (Seminario, Acuña, & Williams, n.d.).

El ozono aplicado como agente desinfectante reduce la población microbiológica y extiende la vida útil del producto. Las destacadas características biocidas del ozono se deben a la combinación de su alto potencial oxidante y su habilidad para difundirse a través de las membranas biológicas. Varios factores afectan o influyen en la difusión y solubilidad del ozono y son: concentración, forma de aplicación, tiempo de contacto, temperatura, carga microbiana y producto aplicado. El ozono tiene la particular ventaja sobre otros agentes desinfectantes por las siguientes razones: actividad antimicrobiana alta, corto periodo de contacto, sustancia generalmente reconocida como segura (GRAS), no tiene problemas de residuos y no forma subproductos peligrosos. Como desventajas se consideran: solubilidad limitada en agua, alto costo de capital inicial, límites de seguridad y salud (OHSAS), vida útil corta y daño oxidativo a materiales de equipo como caucho, algunos tipos de plástico o corrosión de metales (Rodríguez & Narcisso, 2012).

La aplicación de tratamientos con ozono tanto en fase gaseosa y acuosa reportados es durante el almacenamiento y permiten la inactivación de bacterias, virus, hongos, micotoxinas y parásitos contaminantes de los alimentos. La exposición continua de ozono con materias primas frescas durante el almacenamiento ha reportado reducir el deterioro microbiano y fisiológico de frutas y vegetales (Bataller, Santa Cruz, & García, 2010).

El ozono puede usarse como un tratamiento en aire relativamente corto, o puede ser añadido continua o intermitentemente en el almacenamiento para prevenir o retrasar el deterioro de la fruta. La aplicación de ozono también tiene incidencia sobre la calidad fisicoquímica, sensorial y nutricional, por lo tanto las condiciones de procesamiento deben prevenir, lo más posible, pérdidas excesivas de los atributos de calidad. (Miller, Silva, & Brandao, 2013) Muchos investigadores han evaluado los efectos del ozono en su aplicación de forma de gas y acuosa en frutas y hortalizas y su calidad después del tratamiento está altamente influenciados por el producto. Si los tratamientos de ozono no son aplicados apropiadamente pueden promover daño oxidativo en los productos (Miller et al., 2013). Por ejemplo Alexandre, Brandão, & Silva (2012) en un estudio donde se evalúa la eficacia de diferentes métodos no térmicos reportaron que la aplicación de ozono en forma acuosa a frutillas con una concentración de 0.3 ppm fue la muestra con mejor retención de color y firmeza. Con el uso de ozono también se ha logrado incrementar la vida útil de manzanas y naranjas, lo cual ha sido atribuido a la oxidación del etileno (Beuchat, 1992). El ozono por su alta capacidad oxidante se espera que provoque una pérdida de antioxidantes bioactivos, pero contradictoriamente reportes demuestran que estudios relacionados al ácido ascórbico la calidad de frutilla tratada con ozono y almacenada a 2 °C en una atmósfera con ozono

de concentración 0.35 ppm produce un incremento en los niveles de ácido ascórbico, en tanto que otros tratamientos de ozono reportaron tener efectos menores en los contenidos de antocianinas en las frutillas (Pérez, Sanz, Ríos, & Olias, 1999)

El ozono no es universalmente beneficioso y en algunos casos puede promover el deterioro oxidativo en los alimentos. La oxidación superficial, decoloración o el desarrollo de olores indeseables puede ocurrir en sustratos por el uso excesivo de ozono. El tratamiento con ozono en frutas ha dado como resultado tener efectos significativos al reducir la firmeza. Los cambios de textura en la ozonificación y el posterior almacenamiento posiblemente se deben a cambios en la celulosa y hemicelulosa por la polimerización y epimerización en las paredes celulares induciendo un engrosamiento de las paredes celulares, causando cambios de textura (Khadre, Yousef, & Kim, 2001). El efecto más notable de los tratamientos de ozono referente a la calidad sensorial de las frutas es la oxidación de compuestos volátiles. La aplicación de ozono en dosis que no son suficientes para una descontaminación efectiva pueden cambiar las cualidades sensoriales de los alimentos tratados (Rodríguez & Narcisso, 2012).

El objetivo principal del presente estudio fue comparar el efecto de la radiación UV-C y atmósfera de ozono sobre la calidad fisicoquímica de tomate de árbol mínimamente procesado. Se establecieron como objetivos específicos:

- Evaluar el efecto de radiación UV-C y ozono sobre la calidad fisicoquímica (pH, acidez, firmeza, color, sólidos solubles, tasa de respiración, producción de etileno) del tomate de árbol mínimamente procesado.
- Comparar el efecto de la radiación UV-C y el ozono con diferentes métodos de pelado de tomate de árbol.

2. METODOLOGÍA

2. METODOLOGÍA

2.1. MATERIAL VEGETAL Y DISEÑO DE EXPERIMENTO

Se utilizó tomate de árbol grado I, de variedad puntón (común) y rojo, en estado de madurez pintón según la norma INEN 1909:2016 (ANEXO 1). Los frutos fueron adquiridos en un mercado local y posteriormente se trasladaron a la Planta Piloto de Procesamiento de Alimentos de la Universidad Tecnológica Equinoccial, donde se descartaron frutos con daños mecánicos y se clasificaron por ausencia de defectos se lavaron con agua potable y se dejaron secar (ANEXO 2).

2.2. APLICACIÓN DE PRETRATAMIENTOS DE PELADO Y TRATAMIENTOS POSCOSECHA

Para el procesamiento de los frutos de tomate de árbol se utilizaron dos tipos de pelado: escaldado (por inmersión en agua a 90 °C por 1 minuto y 30 segundos) y pelado químico (por inmersión en una solución con 8 % de concentración de NaOH por 1 minuto y 30 segundos. Adicionalmente a los frutos con el pelado químico se los sumergió en una solución acuosa de ácido cítrico para neutralizar los residuos de NaOH. Seguidamente se les retiró la cáscara y se cortaron en octavos para sumergirlos en una solución de ácido cítrico (1 %) y ácido ascórbico (1 %) con el fin de prevenir el pardeamiento enzimático. Se clasificaron en grupos según se indica en la Tabla 1. Se utilizaron las técnicas de pelado de la guía práctica N° 2 (Tratamientos previos a la industrialización) de procesamiento de frutas y verduras (Planta Piloto de Procesamiento de Alimentos de la Universidad Tecnológica Equinoccial).

Tabla 1. Variables de pretratamientos de pelado y tratamientos poscosecha

Pretratamiento (técnica de pelado)	Tratamiento poscosecha		
Escaldado	Control (sin tratamiento)	UV-C	Ozono
Químico	Control (sin tratamiento)	UV-C	Ozono

Al grupo de frutos tratados con UV-C tanto escaldados como con pelado químico, se aplicaron una dosis de 6.02 kJ/m² a una distancia de 30 cm de altura de las muestras. El tratamiento se realizó en una cámara de radiación UV-C, la cual posee cuatro lámparas UV Germicidal G30T8 30W de 36 pulgadas de largo con un rendimiento espectral de 254 nm (ANEXO 3). Las paredes internas de la cámara se cubrieron de papel aluminio para garantizar una distribución uniforme a la radiación en toda la superficie de los productos mínimamente procesados. Posteriormente se colocaron en empaques plásticos tipo clamshell.

La ozonificación se realizó en una cámara de ozono, diseñada y construida en la Universidad Tecnológica Equinoccial, que está constituida por un generador de ozono de descarga de corona, un tablero de control, una cámara de ozonificación y un sensor de ozono marca Aeroqual serie 500 (ANEXO 3). A las muestras, previamente colocadas en empaques plásticos tipo clamshell se expusieron a una dosis de 1.5 ppm de ozono, por un tiempo de 3 minutos.

Aproximadamente 300 g frutos control (escaldados y con pelado químico) se colocaron directamente en empaques plásticos tipo clamshell.

Todas las muestras (tratadas y controles) se almacenaron en refrigeración a 5 °C, durante 8 días. A los 0, 4 y 8 días de almacenamiento se realizaron los análisis de color, pérdida de peso, pH, acidez titulable, sólidos solubles, firmeza, tasa de respiración y producción de etileno, con el fin de determinar la influencia de los tratamientos sobre la calidad fisicoquímica del tomate de árbol mínimamente procesado. El experimento se realizó por duplicado. Cada día de análisis se tomaron 2 bandejas de cada tipo de muestra, se colocaron en bolsas estériles y se homogenizó la muestra.

2.3. ANÁLISIS DE COLOR

El color se evaluó usando un colorímetro triestímulo Konica Minolta Chroma Meter CR-400 En la parte externa del tomate de árbol mínimamente procesado se hicieron las mediciones en tres lugares diferentes del fruto para obtener cuantificaciones promedio de coordenadas rojo/verde (a), coordenadas amarillo/azul (b) y luminosidad (L). Además se calculó la variación de color (ΔE) según la Ecuación 1.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

Donde:

ΔL^* = diferencia del valor de coordenada de luminosidad del día 0 y día 8.

Δa^* = diferencia del valor de coordenada de color rojo/verde del día 0 y día 8.

Δb^* = diferencia del valor de coordenada de color amarillo/azul del día 0 y día 8.

2.4. ANÁLISIS DE PÉRDIDA DE PESO

Cada bandeja se pesó en una balanza analítica al inicio y en cada día de muestreo. Los resultados se expresaran en porcentaje de la pérdida de peso con relación al peso inicial, mediante la Ecuación 2.

$$\text{Pérdida de peso \%} = \frac{\text{peso inicial} - \text{peso final}}{\text{peso inicial}} \times 100 \%$$

[2]

2.5. ANÁLISIS DE FIRMEZA

Se determinó utilizando un penetrómetro 53205 Fruit Pressure tester (Fruit firmness) Turoni. Las mediciones se realizaron en la corteza externa de los frutos y los resultados se expresaron en Newtons (N).

2.6. ANÁLISIS DE pH

Para la medición del pH se acondicionó según lo dispuesto en la norma INEN-ISO 1842:2013 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013a). Cada muestra de tomate de árbol (control, UV-C y ozono) se homogenizó con una licuadora para después ser filtrada a través de un lienzo. Una vez obtenido el filtrado se midió por triplicado el pH de 30 ml muestra en un vaso de precipitación con un potenciómetro por inmersión del electrodo en el filtrado de la muestra.

2.7. ANÁLISIS DE ACIDEZ TITULABLE

Para la acidez titulable se adaptó el método potenciométrico dispuesto en la norma INEN-ISO 750:2013 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013b). Se utilizaron 10 ml del jugo filtrado anteriormente disuelto en 90 ml de agua destilada y se añadió NaOH a una concentración de 0.1 N con una bureta hasta alcanzar un pH de 8.1-8.3, considerado el valor para el viraje potenciométrico. Los resultados se expresaron como porcentaje de ácido cítrico, calculados según la cantidad de solución de NaOH consumida mediante la Ecuación 3.

$$\text{Acidez titulable \% ácido cítrico} = \frac{V_{\text{NaOH}} \times N_{\text{NaOH}} \times M_{\text{eq}}}{V_{\text{muestra}}} \times 100 \% \quad [3]$$

Donde:

V_{NaOH} = Volumen de NaOH consumido en la titulación en ml

N_{NaOH} = Normalidad del NaOH

M_{eq} = Miliequivalente del ácido cítrico (0.064)

V_{muestra} = Volumen de la muestra

2.8. ANÁLISIS DE SÓLIDOS SOLUBLES

Los sólidos solubles se determinaron con el método dispuesto por la norma INEN-ISO 2173:2013 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013b). La medición de grados Brix se realizó con un refractómetro digital del jugo filtrado de la muestra de cada día de control por triplicado.

2.9. ANÁLISIS DE TASA DE RESPIRACIÓN Y TASA DE PRODUCCIÓN DE ETILENO

Para la determinación de la tasa de respiración (TR) y tasa de producción de etileno se empleó el método de atmósfera confinada, donde se introduce una bandeja (muestra) de cada variable a estudiar en un recipiente plástico hermético sellado.

Para la tasa de respiración se midió un valor inicial de CO₂ y etileno, y luego de una hora se vuelven hacer las mismas medidas, para obtener una diferencia.

Los resultados de tasa de respiración se expresaron como mg CO₂/Kg*h para la tasa de respiración, mediante la Ecuación 4.

$$TR = \frac{P \times V \times P_{mCO_2} \times \Delta CO_2}{R \times T \times t \times m} \times 100$$

[4]

Donde:

P= presión atmosférica (atm)

V= volumen del recipiente (L) - volumen del recipiente de la muestra (L)

P_m CO₂= Peso molecular CO₂

Δ CO₂= diferencia entre el porcentaje de CO₂ producido al inicio y al final

R= Constante universal de los gases (0.082 atm*L/ K)

T= temperatura de almacenamiento (K)

t= tiempo de medición (h)

m= masa de la muestra (kg)

Los resultados de producción de etileno se expresaron como mg C₂H₄/Kg*h, mediante la Ecuación 5.

$$\text{Producción de etileno} = \frac{P \times V \times P_{mC_2H_4} \times \Delta C_2H_4}{R \times T \times t \times m} \times 100$$

[5]

Donde:

P= presión atmosférica (atm)

V= volumen del recipiente (L) – volumen del recipiente de la muestra (L)

P_m C₂H₄= Peso molecular C₂H₄

Δ C₂H₄= diferencia entre el porcentaje de C₂H₄ producido al inicio y al final

R= Constante universal de los gases (0.082 atm*L/K)

T= temperatura de almacenamiento (K)

t= tiempo de medición (h)

m= masa de la muestra (kg)

2.10. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se utilizó un diseño factorial AxB para analizar el efecto que tienen los tratamientos (variable A) y el tiempo (variable B) como variables

independientes y como variables dependientes: color (L^* y b^*), pérdida de peso, pH, acidez titulable, sólidos solubles, firmeza, producción de etileno y tasa de respiración. El diseño factorial se realizó para cada grupo de muestras sometido a diferente pretratamiento de pelado.

Los resultados se analizaron utilizando el paquete informático InfoStat versión 2010 (Grupo Infostat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina) con un análisis de varianza (ANOVA). Las medias de los análisis fisicoquímicos fueron comparadas mediante la prueba de Tukey con un nivel de confianza de 0.05.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2 se encuentran los resultados del color superficial (L^* y b^*) y la variación de color (ΔE^*) de tomate de árbol mínimamente procesado sometido a diferentes técnicas de pelado (escaldado y pelado químico) y posterior aplicación de radiación UV-C y atmósfera de ozono como tratamientos poscosecha.

El color depende de los pigmentos naturales de las frutas los cuales se alteran por procesos de maduración y senescencia. La superficie de los productos de cuarta gama es sensible a oscurecerse por una pérdida apresurada de pigmentos. Dichos pigmentos confieren la calidad del color y la aceptabilidad del consumidor (Rangel & López, 2012; Lamikanra, 2002). Las frutas mínimamente procesadas deben parecer frescas, generalmente indicado por la luminosidad del color y la ausencia de defectos visuales o goteo. El brillo exterior de la mayoría de frutas cortadas es preferido que tengan una apariencia seca. Una apariencia poco atractiva puede repeler un cliente de una compra prevista. La marchitez, oscurecimiento, colores opacos y goteo de líquido son indicadores de pérdida de frescura en productos mínimamente procesados (Barrett, Beaulieu, & Shewfelt, 2010). La pérdida de luminosidad es utilizada como un indicador de pardeamiento (Márquez & Pretell, 2013).

Tabla 2. Efecto de la técnica de pelado (escaldado y pelado químico) y de la aplicación de radiación UV-C y atmósfera de ozono como tratamientos poscosecha sobre el color superficial (L^* y b^*) y la variación de color (ΔE^*) de tomate de árbol mínimamente procesado.












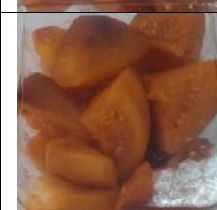


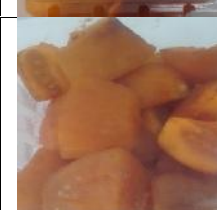



Parámetro de color	Día	Técnica de pelado					
		Escaldado			Pelado químico		
		Control	UV-C (6.02 kJ/m ²)	Ozono (1.5 mg/L)	Control	UV-C (6.02 kJ/m ²)	Ozono (1.5 mg/L)
Luminosidad (L^*)	0	47.12 ^{bc}	54.88 ^a	52.62 ^a	62.62 ^a	56.70 ^{ab}	56.31 ^{ab}
	4	45.81 ^{bc}	42.40 ^c	47.60 ^b	46.68 ^{bc}	50.88 ^{bc}	51.76 ^{bc}
	8	44.77 ^{bc}	45.21 ^{bc}	44.91 ^{bc}	51.48 ^{bc}	48.51 ^{bc}	45.07 ^c
		Tukey = 4.74			Tukey = 10.01		
b^*	0	40.42 ^c	54.74 ^a	48.74 ^b	56.44 ^a	51.74 ^{ab}	46.77 ^{abc}
	4	35.81 ^{de}	34.57 ^e	39.16 ^{cd}	37.21 ^c	40.80 ^{bc}	45.86 ^{abc}
	8	37.36 ^{cde}	37.13 ^{cde}	35.70 ^{de}	45.57 ^{abc}	43.62 ^{abc}	38.28 ^{bc}
		Tukey = 3.75			Tukey = 14.20		
E^*	0-8	4.88	21.48	15.90	15.57	12.29	14.09

Letras distintas indican diferencias de acuerdo al test de Tukey con un nivel de significancia de $p < 0.05$

Las muestras sometidas al pretratamiento de pelado químico y tratadas con radiación UV-C con una dosis de 6.02 kJ/m^2 y de ozono gaseoso de 1.5 ppm fueron las que presentaron una mejor apariencia visual en comparación con las muestras con un pretratamiento de pelado escaldado. Al evaluar los parámetros de color L^* y b^* se determinó que los pretratamientos tuvieron efectos diferentes. Las muestras controles presentaron valores iniciales de $L^* = 62$ y 47 ; y $b^* = 46$ y 45 para pelado químico y escaldado, respectivamente. Posteriormente la aplicación de los tratamientos en las muestras de los frutos pretratadas por escaldado y pelado químico provocó un aumento de luminosidad y el color amarillo, lo cual se puede interpretar como una mejora en la apariencia visual de la parte externa y una respuesta de los tejidos hacia los tratamientos. En el resto de días analizados del almacenamiento las muestras en cada tipo de pelado disminuyeron en los valores de coordenadas de color hasta tener valores cercanos, sugiriendo una pérdida equivalente de color y de la apariencia visual. Sin embargo las muestras tratadas con UV-C exponen los valores más altos en todo el periodo de almacenamiento, evidenciando su mayor efectividad con la preservación pigmentos del fruto.

En las mediciones de color del tomate de árbol se reportaron valores del ΔE donde las diferencias más notorias de color son en el pelado escaldado en los tratamientos UV-C y ozono, indicando una mayor variación de color en el almacenamiento. La muestra control con los frutos pretratados con pelado escaldado presento menor variación de color de todas las variables, pero ese valor no significa que esa muestra en particular haya tenido un menor pardeamiento, sino que al observar las coordenadas L^* y b^* tienen los valores más bajos obtenidos de todas las muestras, es decir que tenían un color menos luminoso y menos amarillo, por lo tanto existió un pardeamiento marcado desde el principio y su color no varió mucho en el tiempo de vida útil estudiado. Mientras que las diferencias de color entre las muestras el pelado químico tienen valores similares, indicando una pérdida de color similar entre las muestras. En la Tabla 3 se puede observar la apariencia del tomate mínimamente procesado en relación al tipo de pelado, tratamiento y día de almacenamiento.

Tabla 3. Comparación de tomate de árbol mínimamente procesado, con escaldado y pelado químico, tratamientos poscosecha UV-C, ozono y muestra control

Muestra	Pretratamiento	Día 0	Día 4	Día 8
Control	Escaldado			
	Pelado Químico			
UV-C	Escaldado			
	Pelado Químico			
Ozono	Escaldado			
	Pelado Químico			

En estudios similares Márquez & Pretell (2013) reportaron que las rebanadas de mamey, mango y piña tratadas con UV-C tuvieron valores mayores de luminosidad al final del almacenamiento comparado con muestras control. De igual manera Artés et al. (2010) reportaron que cubos de sandía mínimamente procesados tratados con dosis de UV-C entre 1.6 a 7.2 kJ/m² mostraron valores ligeramente más altos de luminosidad que las muestras control. En

otro estudio Márquez & Pretell (2013) reportaron valores mayores de b^* en las muestras irradiadas en comparación de las muestras control.

Alwi & Ali, (2015) reportaron que al pimiento morrón tratado por 20 minutos con dosis de ozono gaseoso de 1 y 3 ppm no tuvo una diferencia significativa en el color con respecto a la muestra control. También se reportó que frutilla tratada con 0.3 ppm de ozono tuvieron mejores resultados en la retención del color (Alexandre et al., 2012). Los cambios de color que el estrés oxidativo puede producir se debe a la oxidación de pigmentos, como la clorofila, que el ozono o las especies reactivas de oxígeno producen, reduciendo significativamente la concentración de pigmentos (Alwi & Ali, 2015).

Los pretratamientos de pelado (escaldado y pelado químico) y posterior aplicación de radiación y ozono produjeron cambios significativos en la calidad fisicoquímica del tomate de árbol mínimamente procesado. En la Tabla 4 se encuentran los resultados de los análisis de pérdida de peso, pH, acidez titulable, sólidos solubles, firmeza, producción de etileno y tasa de respiración, a lo largo del almacenamiento.

La pérdida de peso está directamente relacionada con la respiración y la evaporación de la humedad en el tejido vegetal favorecida por la degradación de la membrana y la pared celular en el procesamiento. En los procesos de pelado y cortado de las frutas mínimamente procesadas se exponen los tejidos interiores hidratados y se aumenta drásticamente la tasa de evaporación de agua. La pérdida de peso es asociado por el consumidor como pérdida de calidad por lo que puede provocar un rechazo en la intención de compra (Brecht et al., 2003) (Márquez & Pretell, 2013).

En relación a la pérdida de peso las muestras sometidas a pelado químico fueron las que menor pérdida de peso presentaron en comparación a las muestras escaldadas, lo que representa que con este tipo de pelado se produce menor daño a los tejidos vegetales del tomate de árbol. Al evaluar los valores obtenidos en ambos tipos de pretratamiento de pelado se observó que la aplicación de los tratamientos UV-C y ozono tienen un efecto positivo en reducir la pérdida de peso.

Al final del almacenamiento en los frutos pretratados con escaldado se observa que la muestra control tiene un mayor porcentaje de pérdida de peso con un 10.96 %, y en cambio el tratamiento UV-C el que menor porcentaje mostró con un 5.82 %, y el ozono con 6.34 %. De igual manera en las muestras pretratadas con pelado químico al final del almacenamiento se reportaron valores de 6.03 % en control, 3.99 % en UV-C y 5.56 % en ozono. En ambos pretratamientos la muestra control es la de mayor porcentaje de pérdida de peso, indicando que los tratamientos si tienen un efecto en la calidad fisicoquímica. Por otro lado las muestras irradiadas con UV-C son las que menor pérdida de peso presentan, probablemente porque el tratamiento

aplicado mejora o activa de mejor manera los mecanismos de defensa de los tejidos vegetales en comparación con el ozono.

Tabla 4. Efecto de la técnica de pelado (escaldado y pelado químico) y de la aplicación de radiación UV-C y atmósfera de ozono como tratamientos poscosecha sobre la calidad fisicoquímica de tomate de árbol mínimamente procesado.

Medida	Día	Técnica de pelado						
		Escaldado			Pelado químico			
		Control	UV-C (9.5 kJ/m ²)	Ozono (1.5 mg/L)	Control	UV-C (9.5 kJ/m ²)	Ozono (1.5 mg/L)	
Pérdida de peso (%)	0	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a	
	4	3.49 ^{ab}	3.05 ^{ab}	3.47 ^{ab}	2.39 ^{ab}	1.78 ^{ab}	3.14 ^{ab}	
	8	10.96 ^c	5.82 ^b	6.34 ^b	6.03 ^c	3.99 ^{ab}	5.56 ^b	
			Tukey = 3.51			Tukey = 4.83		
pH	0	3.70 ^d	3.67 ^{cd}	3.70 ^d	3.73 ^a	3.70 ^{ab}	3.67 ^{abc}	
	4	3.47 ^{ab}	3.37 ^a	3.57 ^{bcd}	3.53 ^{abc}	3.50 ^{abc}	3.47 ^{bc}	
	8	3.57 ^{bcd}	3.57 ^{bcd}	3.53 ^{bc}	3.43 ^c	3.57 ^{abc}	3.53 ^{abc}	
			Tukey = 0.14			Tukey = 0.23		
AT (% ácido cítrico)	0	2.19 ^{cd}	2.19 ^{cd}	2.27 ^{cd}	3.43 ^a	3.15 ^a	3.29 ^a	
	4	1.82 ^{ab}	2.11 ^{bcd}	1.67 ^a	2.10 ^b	2.01 ^b	2.12 ^b	
	8	1.97 ^{abc}	2.12 ^{bcd}	2.39 ^d	1.99 ^b	2.05 ^b	1.92 ^b	
			Tukey = 0.32			Tukey = 0.36		
SS	0	9.83 ^{ab}	9.77 ^a	9.90 ^a	9.77 ^c	9.80 ^c	9.80 ^c	
	4	10.07 ^{bc}	10.17 ^c	10.30 ^{cd}	10.47 ^a	9.70 ^c	9.83 ^{ab}	
	8	10.87 ^f	10.70 ^{ef}	10.47 ^{de}	10.17 ^{ab}	9.93 ^{bc}	10.17 ^{ab}	
			Tukey = 0.23			Tukey = 0.34		
Firmeza (N)	0	2.02 ^{bc}	2.30 ^c	2.07 ^{bc}	2.08 ^{abc}	2.50 ^a	2.30 ^{ab}	
	4	2.48 ^c	2.52 ^c	2.38 ^c	2.50 ^a	2.27 ^{ab}	1.98 ^{abcd}	
	8	1.55 ^{ab}	1.17 ^a	1.55 ^{ab}	1.31 ^{cd}	1.55 ^{bcd}	1.25 ^d	
			Tukey = 0.58			Tukey = 0.81		
Etileno (mg C ₂ H ₄ /Kg*h)	0	0.0162 ^{ab}	0.0134 ^{ab}	0.0084 ^b	0.0081 ^c	0.0450 ^a	0.0169 ^{bc}	
	4	0.0166 ^{ab}	0.0180 ^a	0.0086 ^b	0.0411 ^a	0.0248 ^b	0.0086 ^{bc}	
	8	0.0091 ^b	0.0093 ^b	0.0089 ^b	0.0129 ^{bc}	0.0085 ^c	0.0443 ^a	
			Tukey = 0.01			Tukey = 0.01		
CO ₂ (mg CO ₂ /Kg*h)	0	5.02 ^a	3.28 ^{ab}	2.01 ^{bc}	5.14 ^{cd}	7.82 ^b	6.91 ^b	
	4	1.57 ^{bc}	1.82 ^{bc}	1.28 ^c	6.47 ^{bc}	9.43 ^a	4.12 ^d	
	8	0.36 ^c	0.66 ^c	0.93 ^c	0.69 ^e	1.82 ^e	0.48 ^e	
			Tukey = 1.89			Tukey = 1.35		

Letras distintas indican diferencias de acuerdo al test de Tukey con un nivel de significancia de p<0.05 entre tratamientos.

Márquez & Pretell (2013) reportaron valores similares de pérdida de peso en rebanadas de piña tratada con radiación UV-C. También en un estudio con carambola tratada con UV-C la pérdida de peso fue menor en comparación a las muestras control (Márquez, Pretell, & Minchón, 2012).

En tratamientos con ozono estudios muestran que no hubo diferencias significativas de pérdida de peso entre muestras de uvas de mesa y duraznos tratadas con 0.3 ppm (Palou, Crisosto, Smilanick, Adaskaveg, & Zoffoli, 2002).

En relación al pH, no existieron diferencias significativas de los valores de las mediciones entre las muestras tanto para los frutos pretratados con los tipos de pelado como para los tratamientos. En el día 4 se reportó una disminución ligera de pH en todas las muestras. En el día 8 se observa un leve aumento de los valores de pH tanto en las muestras control como en los tratamientos UV-C y ozono. La disminución del valor del pH está relacionado con el deterioro del tejido vegetal, siendo los frutos tratados UV-C con un pretratamiento de pelado químico el que indica que mejor conserva este parámetro.

En estudios similares Pataro et al (2015) aplicó radiación UV-C a manzanas con dosis de radiación de 0.45 J/cm^2 e indican que el tratamiento era efectivo para la activación de las rutas de biosíntesis de compuestos de alto potencial antioxidante (carotenoides, licopeno, compuestos fenólicos), sin afectar las propiedades fisicoquímicas y organolépticas (pH, acidez titulable, °Brix y color) en comparación a las muestras control. También Soloman et al (2015) estudiaron el efecto del tratamiento de radiación UV- C en mangos y piña, y no se observaron cambios significativos en el pH.

En estudios con ozono gaseoso en peras con una dosis de 100 ppm dosificado con una tasa de flujo por 60 minutos reportaron que no hubo diferencias significativas en el pH con relación a la muestra control (Alencar, Faroni, Pinto, Costa, & Carvalho, 2014). De igual manera Alexandre et al (2012) reportó que frutilla tratada con 0.3 ppm de ozono no tuvo diferencias significativas con las muestras control en el pH.

Por otro lado, el sabor de muchas frutas es influenciado por su contenido de azúcares, ácidos orgánicos, compuestos fenólicos y volátiles activadores de olores. La concentración de sólidos solubles de un producto mínimamente procesado está relacionada principalmente a la pérdida de agua y el consumo de nutrientes resultado de la respiración del tejido vegetal en el tiempo de almacenamiento (Lamikanra, 2002). Aproximadamente la mitad de la porción soluble en agua de la materia seca de la fruta está en la forma de azúcares reductores como la fructosa y glucosa.

En la mayoría de las frutas la acidez titulable es responsable de sabores y olores distintivos, por lo tanto es un indicador confiable para evaluar la calidad general de las frutas (Soloman et al., 2015). La acidez disminuye por la degradación de ácidos orgánicos (Arias & Toledo, 2007).

Los valores obtenidos se pueden relacionar con los cambios de pH y analizar la influencia de la actividad microbiológica y fisiológica.

Respecto a la acidez titulable en las muestras el pretratadas con pelado químico tienen valores superiores en comparación a las muestras pretratadas con escaldado. En el día 0 se presentaron valores de 2.19 % y 3.43 % en control, 2.19 % y 3.15 % en UV-C, 2.27 % y 3.29 % en ozono para las muestras

de pelado escaldado y químico, respectivamente. Además en el pretratamiento de pelado químico también los valores entre muestras no presentaron diferencias significativas en los días de estudio indicando que alcanzan un deterioro similar en este parámetro de calidad. Por otra parte, en los frutos pretratados con escaldado se observan diferencias significativas entre las muestras, sugiriendo diferentes niveles de deterioro. Se puede asumir que el pelado químico puede ser influyente en la acidez del tomate mínimamente procesado por la neutralización en el procesamiento o por la influencia del diferente tipo de estrés en el método de pelado. El tratamiento UV-C es el que mayor porcentaje de acidez titulable tiene en sus valores, evidenciando que el estrés abiótico de la radiación UV-C incrementa los mecanismos de defensa de las células del tejido vegetal para mantener la homeostasis por la posible activación de las rutas de biosíntesis de compuestos de alto potencial antioxidante como los ácidos orgánicos (Pataro et al., 2015).

El impacto del ozono en las muestras se podría justificar por el efecto en el estado de balance oxidativo en la célula, y para poder compensarlo se activan sistemas de defensa para neutralizar la actividad oxidativa del ozono y las especies reactivas inducidos por oxígeno como $\cdot\text{OH}$, $\cdot\text{OOH}$ y H_2O_2 , y mantener el estado redox en las células. Esto puede significar el incremento en la concentración de ácidos orgánicos como el ácido ascórbico (Alwi & Ali, 2015).

Alwi & Ali (2015) reportaron un incremento de la concentración del ácido ascórbico en el pimiento morrón tratado con 1 ppm de ozono de 12.1 % y un incremento de 25.6 % con un tratamiento de 3 ppm de ozono inmediatamente después de la exposición. Alexandre et al (2012) reportó que frutilla tratada con 0.3 ppm de ozono almacenada a 4 °C por 15 días no tuvo diferencias significativas con las muestras control en la acidez titulable.

Pataro et al (2015) en un estudio donde se aplicó radiación UV-C a manzanas concluyeron que el tratamiento no afectaba las propiedades fisicoquímicas y organolépticas de manera estadísticamente significativa en comparación a las muestras control. En otro estudio Pan et al (2004) en frutillas tratadas con UV-C (4.1 kJ/m^2) y calor a 45 °C por 3 horas determinaron que hubo un incremento de la acidez titulable pero que no hubo diferencias significativas con la muestra control.

Como se observa en la tabla 4 el porcentaje de sólidos solubles aumentaron levemente en función del tiempo de almacenamiento estudiado. Al final del almacenamiento se observan diferencias significativas entre las muestra control y las muestras con tratamientos de ozono y UV-C, pero no existen diferencias significativas entre los tratamientos. Las muestras control son las que mayor contenido de sólidos solubles presentan señalando una mayor pérdida de agua. El tratamiento UV-C con pelado químico es el de menor valor de concentración de sólidos solubles al final del almacenamiento con un valor

de 9.93 ° Brix, demostrando que con ese tratamiento hay menor pérdida de agua. En el pelado químico de manera general existió una menor concentración de sólidos solubles en comparación al método por escaldado, evidenciando que con este tipo de pretratamiento se produce un menor daño a los tejidos vegetales del tomate de árbol,

Estudios similares como el de Márquez et al. (2012) reportaron diferencias significativas entre muestras control y muestras de carambola tratados con 7 y 14 kJ/m² de irradiación UV-C almacenada 16 días a 5 °C. De igual manera Pan y Zu (2012) encontraron diferencias significativas en el contenido de SS en muestras de rebanadas de piña control y muestras irradiadas con UV-C por 90 segundos almacenadas 12 días a 10 °C.

En relación al ozono Alencar et al (2014) reportaron diferencias significativas con relación a la muestra control en los sólidos solubles de en peras tratadas una dosis de 100 ppm . Alwi & Ali (2015) reportaron que la exposición durante 20 minutos de ozono a diferentes concentraciones de durante 3 días no tuvieron efecto en la concentración de sólidos solubles. En la mayoría de trabajos publicados no se reporta diferencias significativas en el contenido total de SS entre muestras tratadas con ozono en formas de gas en periodos cortos y control (Miller et al., 2013), indicando que el estrés oxidativo del ozono no es efectivo para evitar la pérdida de agua.

El ablandamiento del tejido y su asociada pérdida de integridad y fuga de líquido de algunos productos mínimamente procesados puede ser la primera causa de baja calidad y no comerciabilidad (Lamikanra, 2002). Los productos de cuarta gama que logran mantener la firmeza y turgencia del tejido son de alta demanda por el consumidor ya que están asociados como un parámetro que refleja frescura y salubridad (Márquez & Pretell, 2013). La hidrólisis de almidones y pectinas, la reducción de contenido de fibra y procesos degradativos de las paredes celulares disminuyen la firmeza. Algunos patógenos incitan o producen enzimas que hidrolizan las paredes celulares provocando ablandamiento de los tejidos (Arias & Toledo, 2007)

En ambos tipos de pretratamientos de pelado se observa una disminución de la firmeza en función del tiempo de almacenamiento indicando una degradación equivalente de la pared celular de los tejidos de todas las muestras a lo largo del almacenamiento, pero los frutos pretratados con pelado químico exhiben valores que exponen una ligera mayor preservación de la firmeza que los pretratados con escaldado, manifestando un menor daño del tejido vegetal. Lo cual indica que los mecanismos de defensa que probablemente activaron los tratamientos en el tejido vegetal tienen un mismo nivel de eficacia para aplacar el deterioro de la pared celular de las células. Sin embargo el tratamiento con ozono posee los valores más bajos de firmeza de todas las variables estudiadas. Se ha reportado que los tratamientos con ozono generalmente influyen en la disminución de la firmeza en el

almacenamiento, debido a que la exposición de ozono puede influenciar y acelerar procesos degradativos de la pared celular (Miller et al., 2013)

Estudios similares reportan en melón fresco cortado en cubos tratado por 30 min con ozono gaseoso en dosis de 5000 ppm y 20000 ppm almacenados a 5 °C por 7 días no tuvieron diferencias significativas con las muestras control (Selma, Ibanez, Cantwell, & Suslow, 2008). Mientras que, Márquez & Pretell (2013) reportaron una buena retención de la firmeza en comparación a las muestras control durante 15 días de almacenamiento de rebanadas de mango y mamey tratadas con 7 kJ/m² y de piña tratada con 14 kJ/m².

En cuanto a la producción de etileno en los frutos pretratados con escaldado y pelado químico se observó que existen diferencias significativas en el periodo de almacenamiento entre las muestras. Se observa una baja producción de etileno en todos los días de almacenamiento, siendo la UV-C la de mayor producción. Las diferencias entre los valores obtenidos en las muestras son el resultado de la respuesta a los diferentes tipos de estrés externos al que fueron sujetos las muestras. A pesar de existir diferencias significativas entre tipos de pelado y entre tratamientos la producción de etileno no es un parámetro de calidad fisicoquímico influyente en el tomate de árbol mínimamente procesado ya que los niveles más altos reportados están por debajo de los niveles considerados muy bajos (<0.1 mL C₂H₄/kg*h) en la producción de etileno en las frutas (Arias & Toledo, 2007),

Los daños de tejido vegetal causados en el procesamiento de frutas de cuarta gama pueden inducir elevadas tasas de producción de etileno, lo cual puede acelerar el deterioro y senescencia en tejidos vegetativos y no climatéricos. El nivel de etileno se ha demostrado que incrementa en proporción del daño de tejidos (Brecht et al., 2003). Sin embargo el tomate de árbol es una fruta no climatérica, lo cual quiere decir que produce cantidades muy bajas de etileno y no tiene mecanismos en su metabolismo que produzcan o sean gravemente afectados por el etileno (Brecht et al., 2003). En estudios similares Artés et al (2010) reportaron en su estudio con sandía mínimamente procesada que hubo una producción estable y baja de etileno con valores de hasta 5 nL/kg*h en las muestras irradiadas durante el periodo de almacenamiento sin diferencias significativas con la muestra control. La exposición de pimiento morrón tratado con dosis de ozono gaseoso no tuvo una diferencia significativa en la producción de etileno en concentraciones bajas (Alwi & Ali, 2015). Otro estudio encontró efectos similares del ozono en duraznos con un ligero aumento de la producción de etileno después de una exposición de 0.3 ppm por tres semanas (Palou et al., 2002)

Por último, la tasa de respiración en los frutos pretratados con pelado químico se observa un incremento significativo en relación a los frutos pretratados con escaldado. Al inicio del almacenamiento se observan mayores valores de la tasa de respiración en las muestras con valores de 7.82 y 3.28 mg CO₂/kg*h

en las muestras UV-C, 6.91 y 2.01 mg CO₂/kg*h en ozono, 5.14 y 5.02 mg CO₂/kg*h en control para pretratamiento de pelado químico y escaldado respectivamente. Siendo la muestra UV-C la de mayor tasa de respiración, seguida por el ozono. Se manifiesta que se elevó el metabolismo de las células de los tejidos vegetales por el estrés abiótico inducido por cada tratamiento.

En el día 4 se observan diferencias significativas entre las muestras del pelado químico, con aumentos en los valores de la tasa de respiración. La muestra tratada con UV-C alcanza el valor más alto con 9.43 mg CO₂/kg*h, demostrando que con este tratamiento el tejido vegetal sigue activo en ese día de análisis.

En el día 8 no existen diferencias significativas entre las muestras y hay una disminución notable de la tasa de respiración, reflejando la muerte o deterioro celular del tejido. El tejido vegetal activo más su metabolismo con el tipo de estrés inducido por el pelado químico y el tratamiento UV-C, haciendo referencia a que el tratamiento UV-C activa mecanismos de defensa más efectivamente que el tratamiento de ozono analizado.

Mediante la respiración las frutas consiguen la energía que necesitan para desarrollar una serie de procesos fisiológicos y metabólicos, utilizando sustancias de reserva para ser oxidadas (carbohidratos, ácidos grasos, y proteínas) consecuentemente consumiendo oxígeno y produciendo dióxido de carbono y calor (Arias & Toledo, 2007; Rangel & López, 2012). La velocidad de respiración es un indicador de la actividad metabólica del fruto donde están involucrados varios factores como el tamaño de corte del producto, la agresividad de los procesos aplicados a las frutas, variedad y madurez del fruto, tipo de tejido (Rangel & López, 2012). El aumento en la respiración se asume que se debe al aumento de la respiración aeróbica mitocondrial debido a los cambios en la estructura mitocondrial y que su incremento en números y función han sido demostrados ser inducidos por los cortes (Lamikanra, 2002).

En estudios similares Artés et al (2010) reportaron que en cubos de sandía mínimamente procesados almacenados a 5 °C y tratados a diferentes dosis de irradiación UV-C y obtuvo un incremento en la producción de CO₂ en comparación de la muestra control.

Alwi & Ali, (2015) reportaron que al pimiento morrón tratado dosis de ozono gaseoso de 1 y 3 ppm durante tres días no tuvo diferencia significativa en la tasa de respiración con respecto a la muestra control. Palou et al (2002) determinaron que la exposición de duraznos a ozono gaseoso no tuvieron diferencias significativas en la tasa respiración. Se ha reportado que la tasa de respiración aumenta cuando las plantas han sido expuestas al ozono y es frecuente que sea mayor cuando hay daños visuales (Hodges & Basra, 2003)

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- La aplicación de radiación UV-C y ozono tienen una respuesta positiva en los parámetros fisicoquímicos del tejido vegetal del tomate de árbol mínimamente procesado a estos estímulos externos en comparación de las muestras control. Pero cada tratamiento activa diferentes mecanismos de defensa o en diferente intensidad.
- En general existen diferencias significativas en los resultados obtenidos para cada pretratamiento de pelado. El color, la pérdida de peso y la tasa de respiración fueron los parámetros de calidad fisicoquímica que más variaron. El pretratamiento de pelado influyó ampliamente en los efectos de los tratamientos y la calidad fisicoquímica, probablemente porque en el proceso de pelado de los frutos se somete a diferentes tipos de estrés haciendo que haya diferentes respuestas.
- El pretratamiento de pelado químico es el tipo de pelado que mejores resultados de calidad fisicoquímica tuvo en comparación con el pelado escaldado, lo que significa que su aplicación tiene un menor impacto en las células del tejido vegetal del tomate de árbol mínimamente procesado, conservando mejor su calidad.
- El tratamiento con irradiación UV-C fue el tratamiento que mejores resultados tuvo en la calidad fisicoquímica del tomate de árbol mínimamente procesado. Esto se ratifica que a pesar de tener valores de la tasa de respiración más altas, tuvo los valores más altos de luminosidad, de firmeza, pH y con los valores más bajos del porcentaje de pérdida de peso en conjunto con un valor de la concentración de sólidos solubles más bajo en los días de almacenamiento observados. Esto señala que con el tratamiento UV-C las estructuras celulares de los tejidos vegetales del tomate de árbol mínimamente procesado no sufrieron el mismo deterioro que las muestras control y tratadas con ozono, probablemente por un metabolismo más dinámico, con una activación más eficiente de los mecanismos celulares de defensa de la planta que permitieron mantener por más tiempo la homeostasis y la estructura celular frente a diferentes agentes deteriorativos.

4.2. RECOMENDACIONES

- Realizar nuevas investigaciones dirigidas a la aplicación irradiación UV-C y ozono en tomate de árbol mínimamente procesado con la adición de atmósferas modificadas, inhibidores de pardeamiento, películas comestibles, materiales de empaques y variaciones en temperaturas para evaluar el efecto de estas sobre la calidad general y poder alargar su vida útil.
- Evaluar la calidad microbiológica con la fisicoquímica del tomate de árbol mínimamente procesado con la aplicación de irradiación UV-C y ozono con para poder evaluar la vida útil del producto.
- Evaluar la aceptabilidad sensorial del tomate de árbol mínimamente procesado con la aplicación de irradiación UV-C y ozono para determinar su potencial de comercial.

5. BIBLIOGRAFIA

5. BIBLIOGRAFÍA

- Alencar, E. R., Faroni, L. R. A., Pinto, M. S., Costa, A. R., & Carvalho, A. F. (2014). Food Processing & Technology Effectiveness of Ozone on Postharvest Conservation of Pear (*Pyrus communis*. *Food Processing & Technology*, 5(4). <http://doi.org/10.4172/2157-7110.1000317>
- Alexandre, E. M. C., Brandão, T. R. S., & Silva, C. L. M. (2012). Efficacy of non-thermal technologies and sanitizer solutions on microbial load reduction and quality retention of strawberries. *Journal of Food Engineering*, 108(3), 417–426. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.09.002>
- Allende, A., McEvoy, J. ., Luo, Y., Artés, F., & Wang, C. . (2006). Effectiveness of two -side UV-C treatments in inhibiting natural microflora and extending the shelf-life of minimally processed “Red Oak Leaf” lettuce. *Food Microbiology*, 23, 241–249.
- Allende, A., Tomás-Barberán, F. A., & Gil, M. I. (2006). Minimal processing for healthy traditional foods. *Trends in Food Science and Technology*, 17(9), 513–519. <http://doi.org/10.1016/j.tifs.2006.04.005>
- Alwi, N. A., & Ali, A. (2015). Dose-dependent Effect of Ozone Fumigation on Physiological Characteristics , Ascorbic Acid Content and Disease Development on Bell Pepper (*Capsicum annuum* L .) During Storage. *Food Bioprocess Technology*, 8, 558–566. <http://doi.org/10.1007/s11947-014-1419-2>
- Arias, C., & Toledo, J. (2007). MANUAL DE MANEJO POSTCOSECHA DE FRUTAS TROPICALES (Papaya, piña, plátano, cítricos) Tomado el 26 de junio de 2007 de: <http://www.fao.org/inpho/content/documents/vlibrary/ac304s/ac304s00.htm>.
- Artés, F., Castañer, M., & Gil, M. I. (1998). Review : Enzymatic browning in minimally processed fruit and vegetables. *Food Sci Tech*, 4(6), 377–389.
- Artés, F., Gómez, P. A. A., & Hernández, F. (2007). Physical, physiological and microbial deterioration of minimally fresh processed fruits and

- vegetables. *International Food Science and Technology*, 13, 177–188.
- Artés, F., Robles, P., Gómez, P., Callejas, A., & Artés, F. (2010). Postharvest Biology and Technology Low UV-C illumination for keeping overall quality of fresh-cut watermelon. *Postharvest Biology and Technology*, 55, 114–120. <http://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2009.09.002>
- Barrett, D. M., Beaulieu, J. C., & Shewfelt, R. O. B. (2010). Nutritional Quality of Fresh-Cut Fruits and Vegetables : Desirable Levels , Instrumental and Sensory Measurement , and the Effects of Processing. *Critical Reviews in Food Science Anad Nutrition*, 50, 369–389. <http://doi.org/10.1080/10408391003626322>
- Bataller, M., Santa Cruz, S., & García, M. (2010). El ozono: una alternativa sustentable en el tratamiento poscosecha de frutas y hortalizas. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 41(3), 155–164.
- Belloso, O., Fortuny, R. . (2011). *Advances in Fresh-Cut fruits and Vegetables Processing* (1era ed.). Boca Raton, FL: CRC Press, Taylor&francis Group.
- Beltrán, A., Ramos, M., & Alvarez, M. (2010). Estudio de la Vida Útil de Fresas (*Fragaria vesca*) Mediante Tratamiento con Radiación Ultravioleta de Onda Corta (UV-C). *Revista Tecnológica ESPOL-RTE*, 23(2), 12–24.
- Beuchat, L. (1992). Surface disinfection of raw produce. *Dairy Food Environ. Sanit.*, 121(1), 946–951.
- Brecht, J. K., Saltveit, M. E., Talcott, S. T., Schneider, K. R., Felkey, K., Florida, G., & Bartz, J. A. (2003). *Fresh-Cut Vegetables and Fruits in Horticultural Reviews* (Vol. 30). Oxford, UK: John Wiley & Sons.
- Briceño, C., Vargas, Z., Camacho de la Rosa, N., Wachter, C., & Trejo, M. (2008). Efecto de los tratamientos por irradiación UV-C sobre la actividad de la Polifenol oxidasa y Peroxidasa en mangos variedad “Ataulfo” almacenados a bajas temperaturas. Retrieved September 8, 2017, from www.respyn.uanl.mx/especiales/2008/ee-08-2008/documentos/A069.pdf
- Domínguez, L., & Parzanese, M. (n.d.). *Luz ultravioleta en alimentos*. Argentina.

- Gonzalez-Aguilar, G. ., Zavaleta-Gatica, R., & Tiznado-Hernández, M. . (2007). Improving postharvest quality of mango “haden” by UV-C treatment . *Postharvest Biology and Technology*, 45, 108–116.
- Hodges, D. M., & Basra, A. (2003). *Postharvest Oxidative Stress in Horticultural Crops* (1 era). Nueva York: Food Products Press.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013a). *NTE INEN-ISO 1842:2013 PRODUCTOS VEGETALES Y DE FRUTAS – DETERMINACIÓN DE pH (IDT)* (segunda). Quito,Ecuador.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013b). *NTE INEN-ISO 750:2013 PRODUCTOS VEGETALES Y DE FRUTAS – DETERMINACIÓN DE LA ACIDEZ TITULABLE (IDT)* (primera). Quito,Ecuador.
- Khadre, M., Yousef, A., & Kim, J. (2001). Microbiological aspects of ozone applications in food: A review. *Food Science*, 6, 1242–1252.
- Lamikanra, O. (2002). *Fresh-Cut Fruits and Vegetables. Science, Technology and Market*. Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Marquez, C., Otero, C., & Cortés, M. (2007). Cambios fisiológicos, texturales, físicoquímicos y microestructurales del Tomate De Árbol (*Cyphomandra betacea* S.) en poscosecha. *VITAE, Revista de La Facultad de Química Farmacéutica*, 14(2), 9–16.
- Márquez, L., & Pretell, C. (2013). Irradiación UV-C en frutas tropicales mínimamente procesadas. *Scientia Agropecuaria*, 4, 147–161.
- Márquez, L., Pretell, C., & Minchón, C. (2012). Efecto de la dosis de irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento sobre las características físicoquímicas , microbiológicas , y antioxidantes en rebanadas de carambola (*Averrhoa carambola* L .), variedad Golden Star mínimamente procesada. *Pueblo Continente*, 23(2), 353–369.
- Miller, F., Silva, C., & Brandao, T. (2013). A Review on Ozone-Based Treatments for Fruit and Vegetables Preservation A Review on Ozone-Based Treatments for Fruit and Vegetables. *Food Engineering Reviews*, 5, 77–106. <http://doi.org/10.1007/s12393-013-9064-5>
- Palou, L., Crisosto, C. H., Smilanick, J. L., Adaskaveg, J. E., & Zoffoli, J. P.

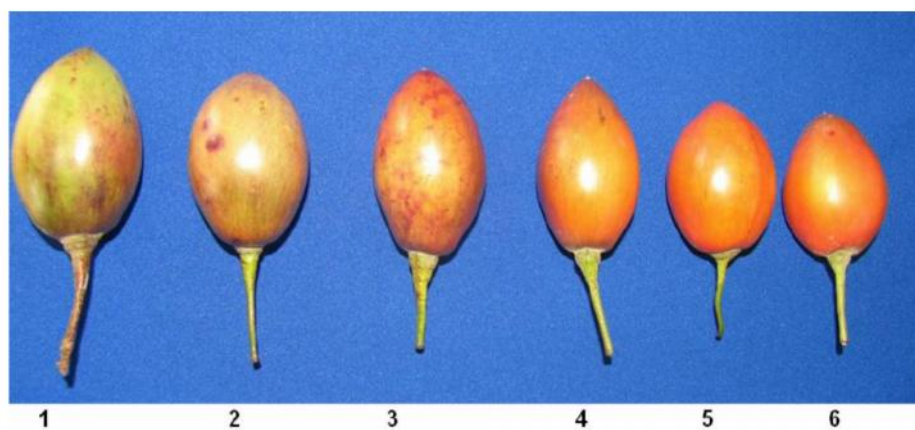
- (2002). Effects of continuous 0 . 3 ppm ozone exposure on decay development and physiological responses of peaches and table grapes in cold storage. *Postharvest Biology and Technology*, 24, 39–48.
- Pan, J., Civello, P. M., Vicente, A. R., Martínez, G. A., & Chaves, A. R. (2004). Combined use of UV C irradiation and heat treatment to improve postharvest life of strawberry fruit Combined use of UV-C irradiation and heat treatment to improve postharvest life of strawberry fruit. *Journal of Th Science of Food And Agriculture*, 84, 1831–1838. <http://doi.org/10.1002/jsfa.1894>
- Pataro, G., Donsì, G., & Ferrari, G. (2015). Post-harvest UV-C and PL Irradiation of Fruits and Vegetables. *Chemical Engineering Transactions*, 44.
- Pérez, A., Sanz, C., Ríos, J., & Olias, J. (1999). Effects of ozone treatment on postharvest strawberry quality. *J. Agric. Food Chem*, 47, 1652–1656.
- Rangel, M., & López, A. (2012). Cambios en frutas tropicales frescas , cortadas y empacadas en atmósfera modificada durante su almacenamiento en refrigeración. *Temas Selectos de Ingenieria de Alimentos*, 2, 94–109.
- Revelo, J., Pérez, E., & Maila, M. V. (n.d.). El cultivo de tomate de árbol. Recuperado el 16 de enero de 2017 de http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/Cultivo_tomate_ecologico.pdf
- Rivera, D., Béjar, A., Martínez, M., González, M., & Rivera, G. (2007). Efectos bioquímicos postcosecha de la irradiación UV-C en frutas y hortalizas. *Fitotec*, 30(4), 361–372.
- Rodríguez, S., & Narcisso, F. (2012). *Advances in Fruit processing Technologies*. Boca Raton, FL: Taylor & Francis.
- Selma, M., Ibanez, A., Cantwell, M., & Suslow, T. (2008). Reduction by gaseus ozone of Salmonella and microbial flora associated with fresh-cut cantaloupe. *Food Microbiol*, 25, 558–565.
- Seminario, L., Acuña, J., & Williams, S. (n.d.). El Ozono y su Aplicación en la

Conservación de Alimentos.

- Soloman, D., Razali, Z., Santhirasegaram, V., & Somasundram, C. (2015). Effects of Ultraviolet Light (UV-C) and Heat Treatment on the Quality of Fresh-Cut Chokanan Mango and Josephine Pineapple. *Journal of Food Science*, 80(2), 426–434. <http://doi.org/10.1111/1750-3841.12762>
- Xu, L. (2008). Uso de Ozono para Mejorar la Seguridad de Frutas y Vegetales Frescos. *Mundo Alimentario*.

6. ANEXOS

ANEXO 1
ESCALA DE COLOR DEL TOMATE DE ÁRBOL.
NORMA NTE INEN 1909



Leyenda

Color de 1 a 2: VERDE
Color de 3 a 4: PINTON
Color de 5 a 6: MADURO

Figura 1. Escala de color del tomate de árbol (INEN, 2016)

ANEXO 2

APLICACIÓN DE PRETRATAMIENTOS



Figura 2. Inmersión del tomate de árbol en solución de NaOH (A)

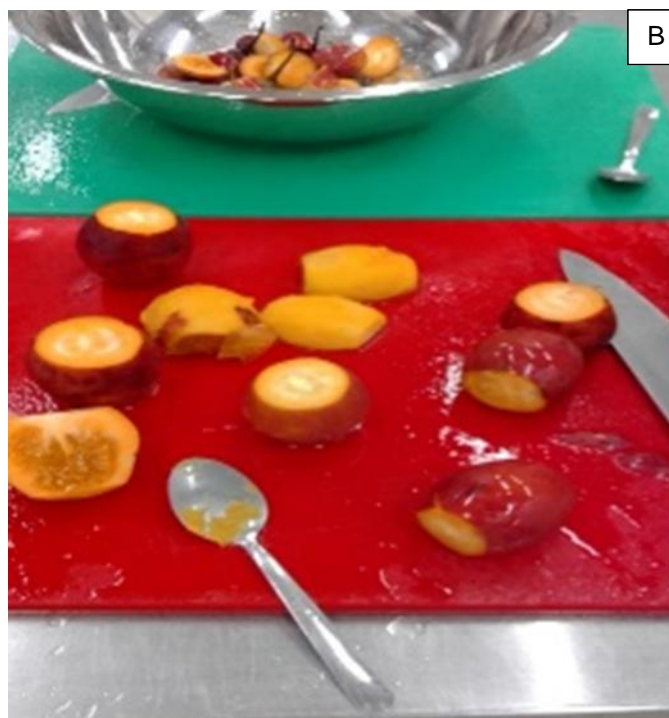


Figura 3. Pelado y cortado de tomate de árbol (B)



Figura 4. Inmersión de tomate de árbol pelado y cortado en solución de ácido cítrico y ácido ascórbico (C)

ANEXO 3

TRATAMIENTOS POSCOSECHA



Figura 5. Aplicación de tratamiento radiación UV-C con dosis de 6.02 kJ/m^2



Figura 6. Aplicación de tratamiento UV-C ozono con dosis de 1.5 ppm por 3 minutos