



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS
Y NATURALES Y AGRIMENSURA

“EVALUACIÓN DE PARÁMETROS EN FRUTILLAS
FRESCAS TRATADAS CON LUZ UV-C”

CARRERA DE ESPECIALIZACIÓN EN ANÁLISIS DE
ALIMENTOS



TRABAJO FINAL

Ing. Agr. Alcides Martín Miguel Michellod

DIRECTORA

Dra. Karina Avalos Llano

2018

RESUMEN

En la Argentina se producen alrededor de 21.000 t de frutillas al año, de acuerdo a estimaciones locales, lo que permite el abastecimiento durante todo el año. La superficie plantada con frutilla en el país abarca hoy aproximadamente 1.000 ha. Las frutillas son frutos carnosos, atractivos para los consumidores por su forma, color, sabor, aroma, y, además por poseer compuestos bioactivos, responsables de su actividad antioxidante, que le confieren importantes beneficios a la salud humana. Al ser frutos carnosos son productos altamente perecederos una vez que han sido cosechados. Existen varias causas que provocan pérdidas en el periodo postcosecha de un fruto, como ser: factores pre-cosecha, variedad, técnicas inadecuadas de recolección, mala manipulación, almacenamiento con otros productos incompatibles, incremento en la concentración de etileno durante el almacenamiento, senescencia, infecciones causadas por bacterias y hongos, etc. Entre los factores de calidad que pueden ser alterados durante la postcosecha se encuentran la pérdida de masa fresca, el color de la epidermis, la firmeza del fruto, el contenido de ácido ascórbico, el contenido de compuestos fenólicos y las características sensoriales. Como opción de los tratamientos postcosecha con agentes químicos, surgen una amplia variedad de tecnologías saludables para los consumidores y amigables con el medio ambiente englobadas bajo el nombre de tratamientos físicos. Los mismos que se utilizan para prolongar la vida postcosecha de los frutos y vegetales se encuentran la refrigeración, los tratamientos térmicos, las atmósferas modificadas y controladas, las aplicaciones de ozono, la irradiación con UV-C, y otras tecnologías emergentes no térmicas. Se ha reportado en otros trabajos que la exposición a la radiación UV-C produce cambios en diferentes parámetros de la fruta, como ser el aumento de firmeza y de la capacidad antioxidante. También se encontró un importante control en el crecimiento de microorganismos tanto bacterias como hongos y mohos, en particular el moho gris *Botrytis cinerea*, principal patógeno de la frutilla en postcosecha, retrasando la aparición del mismo. A nivel enzimático se observó un incremento de la actividad de enzimas que protegen a la fruta de patógenos. Los minerales, tanto macroelementos como microelementos, fueron afectados, incrementándose la concentración de los mismos como el valor de nitrógeno, manganeso, cobre y cinc, durante el almacenamiento refrigerado.

INTRODUCCIÓN

La producción de frutilla en Argentina es de aproximadamente 21.000 t, pudiendo abastecer con este fruto, durante los doce meses del año. La superficie cultivada es de 1000 ha, con variaciones que van entre el 10 y 30 %, en los últimos 6 años. El cultivo comercial se lleva a cabo en siete provincias, concentrándose un 70 % de la producción en Santa Fé y Tucumán (Kirschbaum y Hancock, 2000).

Durante la campaña 2014, la producción de frutilla correntina se repuso de las heladas ocurrida en el año 2013. La superficie se recuperó mediante la reposición de plantas, estimándose en la actualidad 20.000 ha. La primera región concentra el 39,7% de la superficie en explotación y está constituida por los departamentos de Bella Vista, Concepción, Saladas, San Roque, San Miguel, Lavalle, Goya, Ituzaingó, Mburucuyá, Empedrado y Esquina. La segunda región es la del Río Uruguay, integrada por los departamentos de Monte Caseros, Curuzú Cuatiá, Paso de los Libres y San Martín, la cual concentra el 60,3 % de la superficie (Molina, 2015).

Las Frutas, hortalizas, cereales y en definitiva todos los alimentos de origen vegetal, que forman parte o deben ocupar una parte importante de nuestra alimentación diaria, aportan además de azúcares, grasas y proteínas, una serie de nutrientes minoritarios o micronutrientes tales como vitaminas, minerales, fibras, etc. Dentro del grupo de las vitaminas aportadas por los vegetales cabe señalar, por su relevancia, la vitamina C (ácido ascórbico), la vitamina E y la vitamina A, en forma de pro-vitamina. Recientemente ha ganado interés el estudio de otras sustancias del metabolismo de las plantas, tales como flavonoides, carotenoides, fenoles simples y glucosinolatos. Muchas de estas sustancias, además de jugar un papel bioquímico y fisiológico específico en las plantas, tienen un gran interés a nivel farmacológico, nutricional y agroalimentario. Estas sustancias se encuentran en frutas, verduras, frutos secos, harinas, aceites vegetales, bebidas e infusiones. Su consumo puede consumirse en estado fresco o bien como producto procesado en conservas, jugos, congelados, cocinando y salsas. En las últimas décadas, las sustancias antioxidantes han adquirido una relevancia notoria ya que, en muchos casos, ha sido demostrada su participación en la prevención de enfermedades degenerativas tales como las enfermedades cardiovasculares y neurológicas, diferentes tipos de cánceres y otras disfunciones relacionadas con el estrés oxidativo (Cano y Arnao, 2004).

Existen numerosos trabajos que relacionan los factores de pre y postcosecha con la calidad de las frutillas, en sistemas de producción convencional. Entre los factores de

calidad que pueden ser alterados durante la postcosecha pueden ser mencionados la pérdida de masa fresca, el color de la epidermis, la firmeza del fruto, los contenidos de ácido ascórbico y compuestos fenólicos, las características sensoriales. La frutilla posee varios compuestos bioactivos y elevada actividad antioxidante, que confieren importantes beneficios a la salud humana. Estudios muestran que el consumo de frutillas *in natura* o en forma de jugo inhibe el desarrollo de bacterias patógenas, tales como *Salmonella* y *Staphylococcus*, presenta acción anticarcinógena, anticoagulante y reduce enfermedades cardiovasculares (Cantillano *et al.*, 2012).

Los frutos carnosos son productos altamente perecederos una vez que han sido cosechados. Existen varias causas que provocan estas pérdidas en el periodo postcosecha de un fruto, incluyendo factores pre-cosecha, variedad, técnicas inadecuadas de recolección y manipulación, almacenamiento con otros productos incompatibles, incremento en la concentración de etileno durante el almacenamiento, senescencia, infecciones causadas por bacterias y hongos, etc. Históricamente, estas pérdidas, sobre todo aquellas causadas por patógenos, trataron de subsanarse con la utilización de productos químicos sintéticos, tales como insecticidas y fungicidas. Estos métodos son los más populares entre los productores debido fundamentalmente a su bajo costo relativo y fácil aplicación. A pesar de estas ventajas, se conocen numerosos efectos nocivos de estos compuestos sobre la salud humana ya que son potenciales agentes carcinogénicos, teratógenos y tóxicos, además de ser posibles contaminantes del medio ambiente. Asimismo, su uso excesivo genera gran acumulación de residuos y favorece la proliferación de cepas resistentes. En los últimos años ha surgido un nuevo concepto de calidad, dado que los consumidores no solo valoran a los productos por sus características de sabor, aroma y aspecto visual, sino que también buscan alimentos libres de toxinas e inocuos para la salud, a la vez que demandan cada vez más, frutos producidos mediante una agricultura sustentable y de bajo impacto sobre el medio ambiente (González-León y Valenzuela Quintanar, 2007).

Como opción de los tratamientos con agentes químicos, surge una amplia variedad de tecnologías saludables para los consumidores y amigables con el medio ambiente, englobadas bajo el nombre de tratamientos físicos. Entre ellos, se encuentran la refrigeración, los tratamientos térmicos de alta temperatura, las atmósferas modificadas y controladas, las aplicaciones de ozono, la irradiación con UV-C y otras tecnologías emergentes no térmicas que se utilizan para prolongar la vida postcosecha de los frutos y vegetales.

El presente estudio tiene como objetivos:

- 1- Estudiar cómo afecta la radiación UV-C a la calidad sensorial y microbiológica de frutillas frescas.
- 2- Establecer la evolución de las propiedades físicas de frutillas tratadas con UV-C.
- 3- Evaluar el efecto del tratamiento con UV-C sobre macro y microcomponentes de las frutas.
- 4- Determinar el impacto de la radiación UV-C sobre sus propiedades antioxidantes.

DESAROLLO

El tratamiento UV-C

Los tratamientos con UV-C consisten en exponer los productos hortícolas por un cierto periodo de tiempo a la acción de lámparas de UV, a una longitud de onda de 254 nm. Aunque la luz UV a altas dosis es perjudicial para los seres vivos, a bajas dosis genera efectos benéficos para la conservación de alimentos, como por ejemplo la inducción de resistencia a enfermedades, retraso de la maduración y mejora de atributos aportando mayor calidad a los productos. Este fenómeno biológico se denomina “hormesis” y se refiere a la utilización de un agente que normalmente es perjudicial para los seres vivos, pero que en bajas dosis permite obtener un efecto benéfico (Shama y Alderson, 2005)

Propiedades de la radiación ultravioleta

La radiación UV tiene mayor energía que la luz visible y es considerada no ionizante, aunque bajo condiciones específicas puede ionizar determinado tipo de moléculas, como por ejemplo la molécula de agua. Este tipo de radiación ocupa el rango de longitudes de onda entre los rayos X (200 nm) y la luz visible (400 nm) y puede subdividirse en tres regiones: UV-C (100 a 280 nm), UV-B (280 a 320 nm) y UV-A (320 a 400 nm), como se observa en la Figura 1.

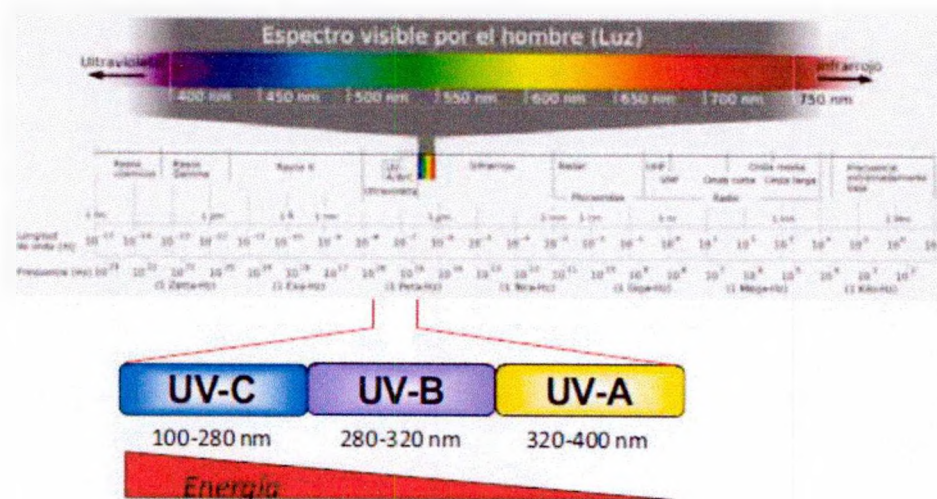


Figura 1. Espectro electromagnético con sus correspondientes longitudes de onda y clasificación de la radiación ultravioleta en función de su longitud de onda correspondiente a cada fracción A, B y C.

El efecto germicida de la radiación UV-C es conocido desde hace mucho tiempo. Principalmente se ha utilizado para el tratamiento de enfermedades, para la esterilización de materiales de uso en medicina y en diferentes industrias donde la contaminación microbiológica es un problema (Guerrero-Beltrán y Barbosa-Cánovas, 2004).

Las lámparas típicamente usadas para la desinfección con UV-C consisten en tubos de cuarzo que contienen un gas inerte en su interior, como argón, y pequeñas cantidades de mercurio. Las fuentes de radiación usadas pueden ser clasificadas en lámparas de baja y media presión de descarga de mercurio. Es importante tener en cuenta que el grado de destrucción o inactivación de los microorganismos es altamente dependiente de la dosis de UV-C utilizada. En el sistema internacional de unidades (SI), la dosis de UV-C se expresa en Joules por metro cuadrado ($J m^{-2}$), mientras que la irradiancia o intensidad de la radiación UV, se expresa en Watts por metro cuadrado ($W m^{-2}$). En la práctica se ha utilizado una gran variedad de tratamientos en frutos y vegetales, pero en la mayoría de los casos las dosis usadas abarcan un rango desde los 0,2 hasta los 20 $kJ m^{-2}$. La distancia entre el producto y las lámparas también es variable (10-40 cm) y la dosis de radiación se mide generalmente con un radiómetro (Civello *et al.*, 2007).

En la mayoría de los estudios realizados, los productos son rotados manualmente para asegurarse que todas las superficies hayan sido expuestas a la radiación (Stevens *et al.*, 2005).

En todos los casos, la dosis necesaria debe ser optimizada para cada tipo de fruto o vegetal y también para cada nueva variedad utilizada. Algunos estudios indican que la dosis requerida cambia con el estado de madurez del fruto y con la estación del año en la cual fueron cosechados, y que los resultados finales pueden ser afectados por la temperatura utilizada para el almacenamiento después del tratamiento (Droby *et al.*, 1993).

Cabe destacar que los tratamientos con UV-C poseen varias ventajas para su utilización en la postcosecha. Entre ellas se encuentra la practicidad, ya que son tratamientos simples, limpios, se realizan a bajas temperaturas y sin humectación del producto, requieren menos espacio que otros métodos, poco mantenimiento y tienen un bajo costo. Estas características, sumado a que podrían ser incorporados fácilmente a una línea de procesamiento, que requieren una baja inversión para su implementación y que no existen, en general, restricciones legales para su aplicación, los convierten en una atractiva opción como tratamiento postcosecha (Civello *et al.*, 2007).

Efecto sobre la calidad sensorial

Beltrán Alban (2010) realizó un análisis sensorial sobre frutillas enteras tratadas con UV-C (dosis de 5 KJ m^{-2}), analizando los atributos aroma, dulzor, textura y color a los 5 días de almacenamiento. La escala de calificación para el análisis del atributo aroma fue desde 1 (nada perceptible) hasta 5 (muy intenso). Los valores promedio obtenidos fueron 2,04 para las frutillas sin tratamiento y 2,78 para las frutillas tratadas. Lo que significó que existió un mejor aroma en las frutillas tratadas.

Con respecto al dulzor la escala fue desde 1 (nada dulce) hasta 5 (demasiado dulce). Los puntajes promedio obtenidos fueron 2,46 para las frutillas no tratadas y 3,67 para las frutillas tratadas. Indicando un incremento del dulzor en estas últimas relacionado con el aumento de °Brix y contenido de azúcares reductores en las frutillas sometidas a radiación UV-C, a expensas del aumento del contenido de glucosa, fructosa y sacarosa que son los azúcares totales predominantes en la fruta. Para el atributo textura se utilizó una escala que fue desde 1 (muy suave) hasta 5 (muy dura). Los puntajes obtenidos fueron 3,33 para las frutillas sin tratamiento y 2,92 para frutillas tratadas con radiación UV-C. Esto indicó un ablandamiento del fruto como consecuencia del tratamiento, debido a la absorción de energía por parte de los componentes de la pared y membrana celular. Al mismo tiempo la radiación UV-C genera especies reactivas al oxígeno que provocan un estrés oxidativo, lo cual afecta la estabilidad de este atributo sensorial.

También el autor analizó sensorialmente el atributo de color en frutilla bajo las mismas condiciones experimentales anteriormente mencionadas, siendo el color de los frutos un atributo importante dado que el mismo puede ser un factor decisivo en su aceptación o rechazo, por parte de los consumidores. Durante la maduración de los frutos el color cambia debido a la pérdida de clorofilas y a la síntesis de antocianinas. Ya desde 1993 se han observado modificaciones en estos pigmentos en aquellos productos tratados con UV-C (Liu *et al.*, 1993). Para el análisis sensorial de color en frutillas sin tratamiento y contratamiento UV-C, el autor utilizó una escala del 1 (rojo muy débil) hasta 5 (rojo brillante). Las frutillas sin tratamiento presentaron un color más suave (valor de 2,88) que las frutillas tratadas con radiación UV-C (valor de 3,79).

Efecto sobre la calidad microbiológica

La luz UV se ha utilizado para la desinfección de superficies. Sin embargo, hay un interés creciente en usar luz ultravioleta para la conservación de alimentos. Es así que se aplica a frutas frescas, vegetales y raíces antes de ser almacenadas para reducir el recuento inicial de microorganismos en la superficie del producto e inducir resistencia del huésped a los microorganismos.

Por otra parte, la radiación de la región UV del espectro electromagnético se puede utilizar para la desinfección de productos alimenticios líquidos. La longitud de onda para el procesamiento UV varía de 100 a 400 nm. La luz ultravioleta, con algunas precauciones, es fácil de usar y letal para la mayoría de los tipos de microorganismos. La longitud de onda entre 220 y 300 nm es considerada germicida contra microorganismos tales como bacterias, virus, protozoos, mohos, levaduras, y algas. El efecto de la radiación UV sobre los microorganismos puede variar de una especie a otra y, en la misma especie, según los medios de crecimiento, densidad de microorganismos y otras características, como tipo y composición del alimento. Los hongos y levaduras son más resistentes a la desinfección; sin embargo se deben tomar en cuenta altos niveles de carga microbiana cuando se usa UV-C para la desinfección. La radiación absorbida por el ADN puede detener el crecimiento celular y conducir a su muerte. La luz UV-C absorbida por el ADN causa un desplazamiento físico de electrones de enlaces intra e inter moleculares, retrasando la reproducción celular. Esto significa que el efecto bactericida de la luz UV-C es principalmente a nivel de ácido nucleico, una reticulación entre pares de timina y citosina en la misma cadena de ADN. Los fotoproductos de ADN más comunes son los dímeros de ciclobutilo pirimidina. El

efecto resultante es que la transcripción y la replicación del ADN son bloqueados, comprometiendo las funciones celulares y eventualmente llevando a la muerte celular. Los efectos de reticulación en el ADN son proporcionales a la cantidad de exposición a la luz UV-C. La irradiación UV-C también podría producir mutaciones de ADN en el organismo lesionado. La fotorreactivación puede ocurrir cuando las células dañadas están expuestas a longitudes de onda mayores a 330 nm. El daño que ocurre a nivel de ADN podría ser reparado por factores proteicos. La división en el ácido nucleico mediante tratamiento con luz UV-C puede fotorreactivarse debido a la activación de la enzima fotoliasa que monomeriza el dímero especie (división de timina y otras piridinas) formado después del proceso de radiación. Sin embargo, un entorno oscuro podría evitar la fotorreactivación de productos irradiados o restaurar las células expuestas a la luz UV-C. Una preocupación muy importante debería ser la aplicación de la dosis adecuada para garantizar la entrega de alimentos seguros y para evitar la posibilidad de deterioro debido a fotorreactivación. Si las células tratadas con luz UV-C son expuestas dentro del rango de luz de 330 a 480 nm, la fotorreactivación de las mismas puede aumentar el número de microorganismos viables. La reparación de las células tiene correlación con la intensidad de la luz expuesta. Para evitar este efecto, el producto debe mantenerse bajo refrigeración y/o usarse paquetes oscuros para almacenar el producto.

Como ya se ha explicado más arriba, el efecto beneficioso de la luz UV-C en productos alimenticios frescos se denomina 'hormesis'. El efecto hormético de la luz UV-C puede estimular la producción de fenilalanina amoniaco-liasa (PAL) que induce la formación de fitoalexinas (compuestos fenólicos), lo que puede a su vez, mejorar la resistencia de las frutas y verduras a los microorganismos. Por ejemplo, PAL induce la resistencia de raíces de batata al hongo *Fusarium solani* (Guerrero-Beltrán y Barbosa-Cánovas, 2004). La frutilla es infectada por *Botrytis cinerea* en el campo, que permanece en estado latente hasta alcanzar las condiciones atmosféricas adecuadas para generar esporas. Beltrán Alban (2010) encontró que las frutillas enteras envasadas en bandejas de polietileno sin tratar, presentaron crecimiento de hongos filamentosos en la superficie de la fruta transcurridos los 3 días de almacenamiento a temperatura ambiente, y a los 5 días cubrieron totalmente la superficie de la misma. Las frutillas tratadas con UV-C comenzaron a infectarse a partir del quinto día, es decir que el tratamiento aumentó dos días el tiempo de conservación, a temperatura ambiente. Las bacterias presentes en la fruta analizada por Beltran Alba (2010) se vieron afectadas considerablemente por el

efecto de la radiación UV-C, ya que el recuento de bacterias mesófilas disminuyó un 92% en las frutillas tratadas. Consecuentemente, se comprueba que los tratamientos con UV-C reducen la carga microbiana presente en las frutas. Con respecto a mohos y levaduras, la aplicación de tratamientos con radiación UV-C permitieron retrasar la germinación de esporas fúngicas y con ello, reducir la patogenicidad de los microorganismos. Para el análisis de coliformes totales, se observó que las frutillas sin tratamiento presentaron un mayor recuento que las frutas con tratamientos UV-C. En consecuencia, la radiación UV-C reduce la proliferación de coliformes en las frutillas.

Efecto de la luz ultravioleta sobre la descomposición fúngica

La descomposición fúngica se produjo rápidamente en las frutillas almacenadas en un rango de temperatura de 4 °C a 13 °C, con un 50% de frutos controles con signos de infección después de 10 días de almacenamiento. El agente fúngico mayoritariamente encontrado en la fruta en estado de descomposición fue *Botrytis cinerea*. El tratamiento con UV ralentizó la aparición de la pudrición del fruto en frutas almacenadas a bajas ambas temperaturas, entre 4 y 10 °C. Aunque el tratamiento con UV a dosis de 0,25 kJ m⁻² pareció efectiva a ambas temperaturas. En términos de control de descomposición fúngica, el tratamiento con UV permitió extender la vida útil de las frutillas entre 4 y 5 días más (Baka *et al.*, 1999).

Efecto sobre el mantenimiento y la mejora de la calidad en los frutos

Los frutos son productos altamente perecederos, especialmente una vez que han sido cosechados. Existen varios factores que afectan al mantenimiento de la calidad de los frutos durante su almacenamiento, distribución y comercialización. Los tratamientos con UV-C han demostrado modificar varios de estos aspectos en diferentes tipos de frutos, extendiendo su vida postcosecha y reduciendo las pérdidas, y también manteniendo, e inclusive en algunos casos mejorando, su calidad. Estos factores podrían dividirse en dos grupos principales que se encuentran estrechamente relacionados entre sí: procesos asociados a la maduración y a la senescencia y, por otro lado a los relacionados con el decaimiento provocado por diversos patógenos que atacan a los frutos (Pombo, 2009).

Influencia sobre procesos asociados a la maduración y senescencia de frutos

Durante la maduración, los frutos se tornan más atractivos a través de cambios en su color, sabor, aroma y textura, pero por otro lado estas modificaciones conducen a la senescencia de los mismos y los tornan más susceptibles a las enfermedades postcosecha, ambos efectos no deseados por los consumidores y productores. Los tratamientos con UV-C han demostrado su utilidad para controlar distintos procesos asociados con la maduración. Como se mencionó anteriormente, los resultados obtenidos varían de acuerdo al tipo de fruto, al estado de maduración, a la estación del año en la que se realizó la cosecha y a la dosis aplicada (Pombo, 2009).

Efecto sobre la firmeza de la pulpa

La firmeza es un atributo muy importante en la postcosecha de los frutos. El excesivo ablandamiento es uno de los principales factores determinantes de la pérdida de calidad, dado que los productos más firmes soportan mejor la manipulación y el transporte y son menos propensos al desarrollo de hongos y podredumbres. Pan *et al.* (2004) han demostrado que la irradiación con UV-C retrasó la tasa de ablandamiento en frutilla, a 20 °C encontrando mayores valores de firmeza en frutillas a las que se le aplicaron dosis de 0,25, 1 y 4,1 kJ m⁻². La dosis de 0.25 kJ m⁻² tuvo un efecto beneficioso en la firmeza de la pulpa durante tiempos de almacenamiento más largos, ya que las frutas tratadas con esta dosis permanecieron significativamente más firmes que las frutas que no se trataron con luz UV-C. Respecto al reblandecimiento también se retrasó en frutilla tratada con una dosis de 1,0 kJ m⁻² (Cote *et al.*, 2013). La firmeza disminuyó casi un 50% en las frutillas controles después de 3 días de almacenamiento a 10 °C. El ablandamiento fue significativamente reducido en fruta tratada con UV-C. Alta intensidad de radiación UV fue más eficiente para evitar el ablandamiento. De hecho, durante los primeros 3 días de almacenamiento a 10 °C no se detectaron cambios en la firmeza en las frutas tratadas con alta intensidad UV-C. Después de 5 días, la fruta tratada con UV-C todavía se mantenía más firme que el control. La exposición a alta intensidad de UV-C en frutilla aumentó la eficacia de los tratamientos, reduciendo el ablandamiento, uno de los principales cambios que limitan su vida postcosecha.

Respiración

La actividad respiratoria aumentó durante el almacenamiento a 10 °C tanto en las frutillas control como tratadas con UV-C. El aumento observado en la tasa respiratoria

comparación con las muestras no tratadas. Durante el almacenamiento, observaron que los tratamientos con UV-C disminuyeron los flavonoles como el ácido elálgico y derivados, y también la p-cumaroil glucosa.

Por otra parte, Baka *et al.* (1999) encontraron que el contenido de antocianinas aumentó gradualmente durante el almacenamiento hasta el sexto día tanto en la frutillas controles como en las tratadas con UV-C. Se ha encontrado que la exposición a UV-C disminuyó el contenido de procianidina y compuestos antioxidantes en frutilla. Por el contrario, otros estudios han encontrado aumento de compuesto fenólicos en frutillas tratadas con UV-C. Puede suponerse que la baja intensidad de UV-C podría haber sido suficiente para reducir la biosíntesis de etileno y tener un impacto similar al tratamiento de alta intensidad. El contenido de antioxidante hidrofílico no se vió afectado por los tratamientos UV-C. Los resultados mostraron que la elicitación o la degradación de compuestos bioactivos dependieron en gran medida de la variedad. En general los estudios sugirieron que además de la dosis total, la intensidad de la radiación es un factor clave que afecta la eficacia de los tratamientos y que los efectos son distintos en diferentes frutas. Una alta dosis UV-C puede, en algunos casos, aumentar el resultado de los tratamientos y también reducir los tiempos de los mismos. Intensidades excesivamente altas podrían resultar en reacciones oxidativas y alteraciones de la nutrición y/o calidad organoléptica de la fruta (Cote *et al.*, 2013).

Los fenoles totales solubles de frutillas tratadas con UV-C aumentó durante 15 días de almacenamiento a 10 °C. Sin embargo, el aumento fue relativamente menor en las frutas control. También el contenido de antocianinas de frutilla aumentó durante el almacenamiento (Du *et al.*, 2014). Erkan *et al.* (2008) reportaron que el contenido de antocianina aumentó durante el almacenamiento en frutillas tratadas con UV-C con respecto a las que no fueron sometidas al tratamiento. Sin embargo, se observó poca diferencia en el contenido de antocianinas entre varios tratamientos, durante el almacenamiento a 10 °C.

Otros autores observaron un gradual aumento en la acumulación de estos pigmentos en frutillas irradiadas con dosis de 0,25 y 1 kJ m⁻², hacia el final del almacenamiento. En cambio frutillas tratadas con 4,1 kJ m⁻² de UV-C mostraron un menor enrojecimiento de su superficie y una menor acumulación de antocianinas que sus controles respectivos (Pan *et al.*, 2004).

Efecto sobre la actividad enzimas antioxidantes

Glutación peroxidasa (GSH-POD) y glutación reductasa (GR):

Los resultados de las actividades de glutación peroxidasa y glutación reductasa de frutillas almacenadas por 15 días fueron variados entre tratamientos y duraciones de almacenamiento. Después de 15 días de almacenamiento, las frutillas expuestas a 10 min de tratamiento con luz UV-C tuvieron las más altas actividades enzimáticas. Las expuestas a 1 min de iluminación de UV-C tuvieron actividades más bajas en comparación con las expuestas a 5 y 10 min de tratamiento UV-C. Después de 15 días de almacenamiento, las muestras controles tuvieron las actividades más bajas para glutación reductasa. El tratamiento con 1 min de UV-C tuvo las actividades más bajas para glutación peroxidasa (Erkan *et al.*, 2008).

Superóxido dismutasa (SOD):

La actividad de superóxido dismutasa en frutillas almacenadas a 10 °C se mantuvo estable durante los primeros 5 días, y luego disminuyó durante el resto del almacenamiento. Sin embargo, las frutillas tratadas con UV tuvieron actividades de superóxido dismutasa más altas que las frutas control después de 15 días de almacenamiento (Erkan *et al.*, 2008).

Efecto del tratamiento con UV en la expresión génica relacionada con la defensa

Fenilalanina amonio liasa (PAL):

El análisis del efecto de la irradiación UV-C en la expresión del gen FaPAL mostró pocas diferencias entre el control y la fruta tratada. La expresión en fruta control aumentó durante el almacenamiento a 20 °C, alcanzando un máximo después de 10 h. En respuesta a UV-C, el ARNm de FaPAL se incrementó inmediatamente después del tratamiento (0 h) y mostró el nivel más alto después de 24 h. En comparación con el control, las frutas tratadas presentaron niveles de expresión más altos de FaPAL después de 0 y 24 h de almacenamiento. La actividad PAL aumentó inmediatamente después de la irradiación UV-C (0 h) y se mantuvo en un nivel más alto que en el control después de 4 h de almacenamiento. No se encontraron diferencias de actividad PAL entre control y fruta irradiada después de 10 h, pero a las 24 y 48 h de almacenamiento a 20 °C la actividad enzimática en la fruta irradiada fue más alta que en los controles correspondientes (Pombo *et al.*, 2011)

Polifenoloxidasas (PPO):

En el caso de la actividad de PPO, no se detectó ningún efecto del tratamiento con UV-C, durante las primeras 4 h de almacenamiento. Sin embargo, después 10, 24 y 48 h, la actividad de PPO aumentó en la fruta irradiada, alcanzando el nivel más alto a las 48 h. (Pombo *et al.*, 2011).

Peroxidasas (POD):

Inmediatamente después de la irradiación con UV-C, actividad de la POD fue similar en el control y la fruta tratada. Después de eso, la actividad aumentó en frutas irradiadas durante las primeras horas de almacenamiento (4 h). A las 10 y 24 h, los valores en tejido tratado disminuyeron y alcanzaron niveles similares a los de los controles. Finalmente, la actividad de la POD se elevó en la fruta tratada con UV-C, doblando el nivel encontrado en el control, después 48 h de almacenamiento (Pombo *et al.*, 2011).

Compuestos antioxidantes

La irradiación con UV-C es una tecnología que puede ser utilizada para aumentar las propiedades benéficas de los frutos, debido a la capacidad que posee este tratamiento físico de activar distintas vías metabólicas involucradas en la síntesis y acumulación de metabolitos secundarios, algunos de los cuales están bien caracterizados por su impacto positivo sobre diversos aspectos de la salud humana. De por sí, los frutos son una de las mayores fuentes de antioxidantes, incluyendo compuestos fenólicos, ácido ascórbico y carotenoides. La vía fenilpropanoide puede ser estimulada por la irradiación con UV-C; un ejemplo es el aumento de la concentración (de dos y tres veces) de resveratrol, un compuesto fenólico no flavonoide, en uvas irradiadas con UV-B y UV-C, respectivamente (Cantos *et al.*, 2000). Inclusive, se observó un enriquecimiento en resveratrol y piceatanol en vino obtenido a partir de uvas tratadas con UV-C. En frutilla, la irradiación con UV-C puede causar un aumento de la capacidad antioxidante de los frutos y de la actividad de enzimas que participan en la respuesta antioxidante (Erkan *et al.*, 2008; Pombo, 2009).

Efectos sobre la capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante en frutillas tratadas con luz UV aumentó durante 15 días de almacenamiento a 10 °C. Sin embargo, este aumento fue relativamente menor en la fruta control en comparación a la fruta irradiada. Los valores iniciales de la capacidad antioxidante de las frutillas tratadas por 5 minutos con luz UV-C y almacenados

durante 15 días, tuvieron el más alto valor de capacidad antioxidante, seguidas de las que se trataron por 1 minuto y 10 minutos. Con respecto a la fruta control que no recibió ninguna dosis de luz UV, presentó los menores valores de capacidad antioxidante con respecto a los tres tratamientos probados (Erkan *et al.*, 2008).

En el Laboratorio de Tecnología Química y Bromatología de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura, se realizaron estudios del comportamiento de frutillas sometidas a radiación UV-C y su impacto sobre la capacidad antioxidante como así también en los minerales que componen la pulpa de la misma: macroelementos como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio, y en los microelementos como el hierro, cobre, manganeso y cinc. Se determinaron el contenido de sodio y potasio mediante fotometría de llama, calcio y Magnesio por complexometría EDTA, fósforo por el método azul de Murphy y Riley, nitrógeno por método de Kjeldahl. Los microelementos tales como hierro, cobre, manganeso y cinc se determinaron por absorción atómica.

Los tratamientos se realizaron aplicando una dosis de $5,8 \text{ kJ m}^{-2}$ combinando con adición de jugo de naranja. Se trabajó con cuatro condiciones: dos controles sin tratamiento UV-C con y sin adición de jugo de naranja, denominados C+J y C-J, respectivamente; y dos grupos de muestras sometidas a UV-C con y sin adición de jugo de naranja, denominados UV+J y UV-J, respectivamente.

Para la determinación de la actividad antioxidante, se trabajó con dos metodologías diferentes: la del ABTS⁺ (ácido 2,2'-azino-bis (3 etilbenzotiazolin-6-sulfónico)), y la del DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo).

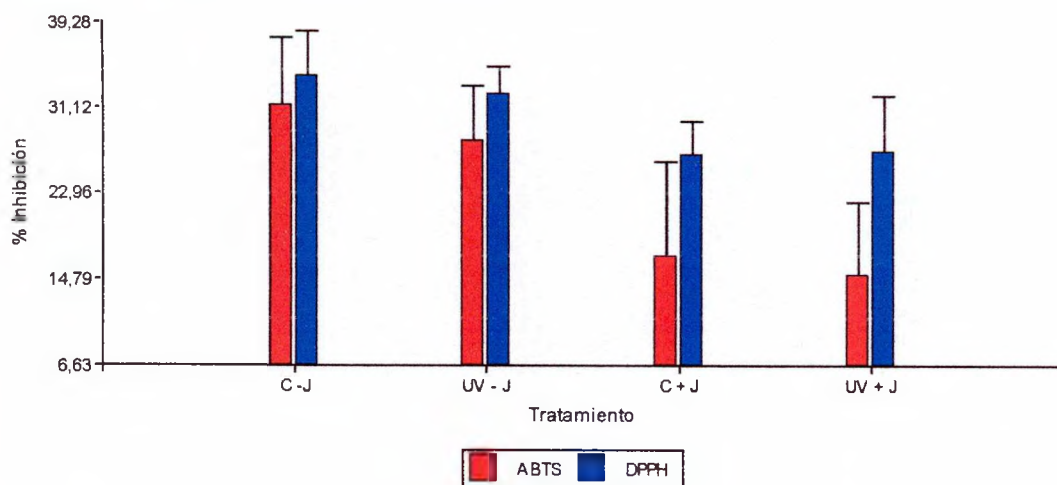


Figura 2. Porcentajes de inhibición de ABTS⁺ y DPPH en frutillas en función de los tipos de tratamientos a tiempo cero.

En Figura 2 se observa que los porcentajes de inhibición de DPPH son mayores en todos los tratamientos con respecto a los de ABTS⁺, como así también se observa que para ambos radicales libres la inhibición fue mayor en aquellos tratamientos que no tenían jugo adicionado.

Para determinar las diferencias significativa entre los promedios de las muestras, se aplicó el análisis de la varianza con una prueba de Tukey con un nivel de significancia del 0,05 %, como vemos en la Tabla 1.

Tabla 1: Análisis de la varianza del porcentaje de inhibición de DPPH y ABTS⁺ en frutillas tratadas a tiempo cero.

| Tratamientos | Medias ABTS ⁺ | Tratamientos | Medias DPPH |
|--------------|--------------------------|--------------|-------------|
| UV + J | 15,07a | C + J | 26,50a |
| C + J | 17,01a | UV + J | 26,74a |
| UV - J | 27,93b | UV - J | 32,27b |
| C - J | 31,33b | C - J | 34,03b |

En la tabla 1 se observa que existe diferencias significativas entre los tratamientos con y sin jugo siendo las medias de los tratamiento de frutilla con el agregado de jugo (C + J) menores que las medias de los tratamientos de frutilla sin jugo (C - J). También se pudo apreciar que tanto para ABTS⁺ como para DPPH existen diferencias significativas entre tratamiento con y sin radiación ultravioleta, como así también existen diferencias significativas entre los controles. Se pudo destacar que para ABTS⁺ los porcentajes de inhibición de los tratamientos con UV-C tuvieron los menores valores de media 15.07 % para el tratamiento de ultravioleta mas el agregado de jugo, y 27.93 % para el tratamiento de ultravioleta sin jugo. No así para DPPH, siendo la media en las muestras UV+J de 26.74 %, y las UV-J presentaron el menor valor con un promedio de 32.27 %. Para detectar diferencias significativas entre el porcentaje de inhibición total entre ambos reactivos incluyendo todos los tratamientos como criterio de clasificación a tiempo cero, se realizó una prueba “t” para muestras no pareadas (Tabla 2)

Tabla 2: Prueba “t” para el porcentaje de inhibición utilizando los reactivos DPPH y ABTS⁺.

| | ABTS ⁺ | DPPH | t | p-valor |
|-------|-------------------|-------|-------|---------|
| Media | 22,84 | 29,88 | -6.22 | <0,0001 |

Con respecto al porcentaje de inhibición, se encontraron diferencia significativa entre los valores determinados con ambos reactivos ya que p-valor es menor de 0.0001. El porcentaje de inhibición del DPPH[•] presentó el mayor valor con un promedio de 29.88 % y porcentaje de inhibición del ABTS⁺ presentó el menor valor con un promedio de 22.84 %, a tiempo cero.

Se estudió el comportamiento de la actividad antioxidante con todos los tratamientos anteriormente mencionados, durante el almacenamiento refrigerado.

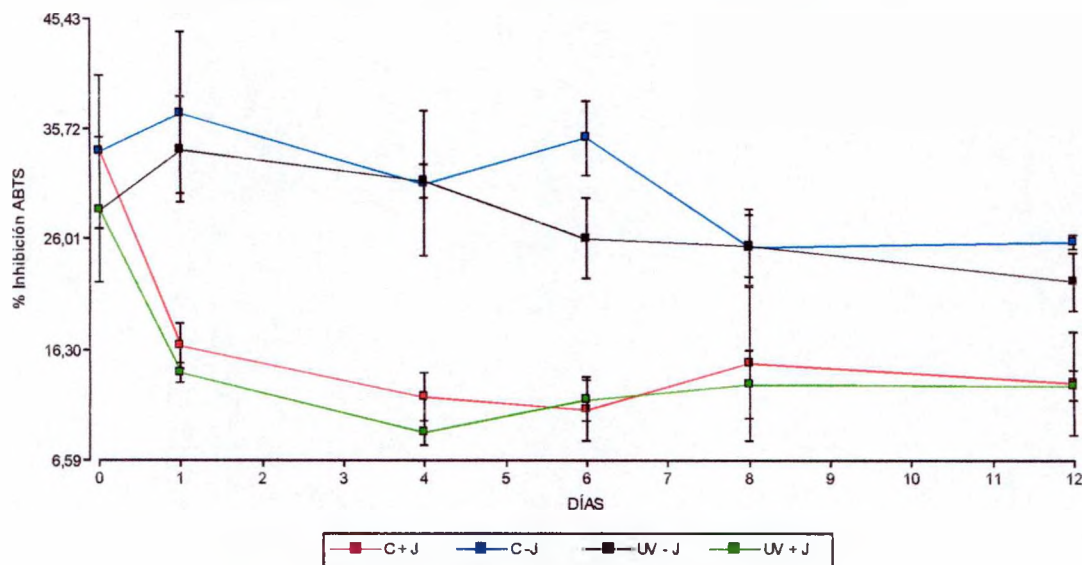


Figura 3: Variación de los porcentajes de inhibición de ABTS⁺ en frutillas tratadas, durante el tiempo de almacenamiento.

La Figura 3 muestra que los porcentajes de inhibición fueron disminuyendo a lo largo del tiempo para los cuatro tratamientos estudiados. En las muestras que no tenían jugo adicionado, el porcentaje de inhibición de ABTS⁺ disminuyó a lo largo del tiempo pero siempre se mantuvo con valores superiores a las muestras que tenían jugo adicionado. Incluso las muestras C-J presentaron el mayor porcentaje de inhibición al día 12.

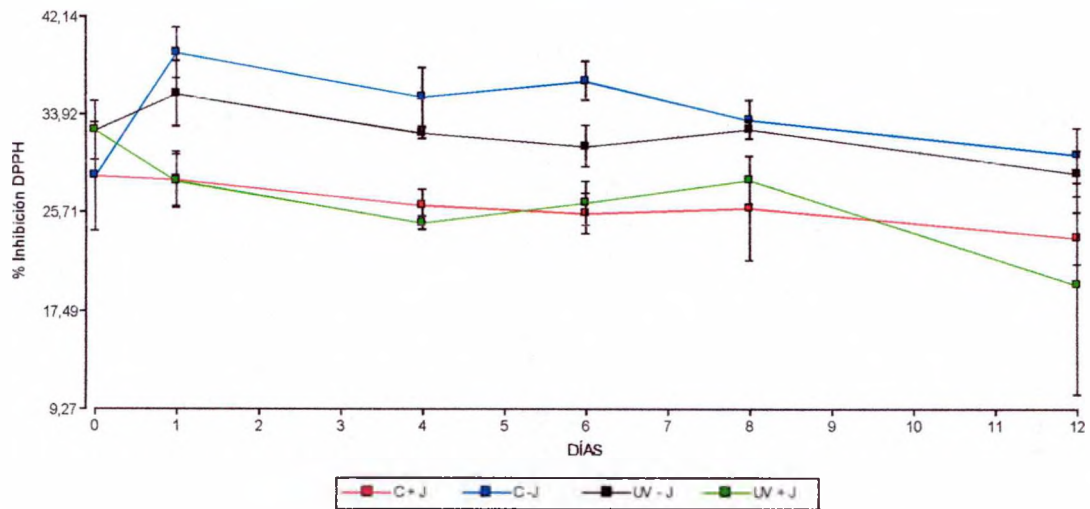


Figura 4: Variación de los porcentajes de inhibición de DPPH en frutillas tratadas en función del tiempo.

En la figura 4 se observa una disminución de los porcentajes de inhibición de DPPH a lo largo del tiempo, manteniéndose los mayores valores de inhibición en las muestras sin jugo. Para el caso de los tratamientos con jugo, se registraron menores valores de inhibición, pero el que recibió radiación ultravioleta fue el que menor valor presentó de los cuatro tratamientos analizados, al día 12 de almacenamiento. También se observa que para DPPH no existió marcada variabilidad en los valores promedios, caso contrario a lo registrado con el ABTS⁺, y se vuelve a repetir el comportamiento que al día 12 los mayores porcentajes de inhibición lo presentaron las muestras sin tratamiento UV-C y sin el agregado de jugo.

Efecto de la radiación UV-C sobre la composición mineralógica de la frutilla.

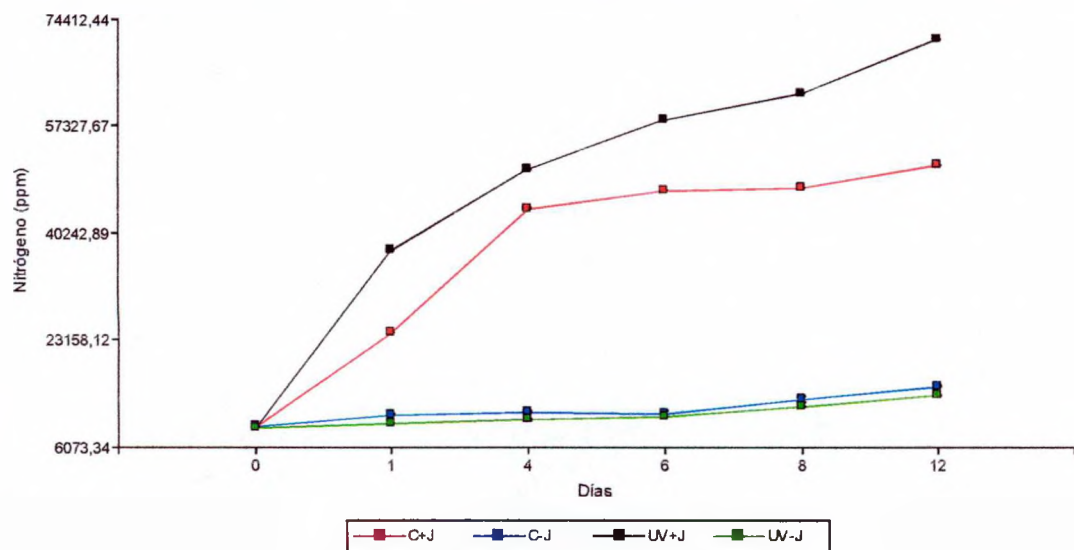


Figura 5: Concentración de nitrógeno en frutillas tratadas, en función del tiempo de almacenamiento.

El nitrógeno presentó un comportamiento diferente al resto de los minerales, siendo que el contenido del mismo aumento a medida que transcurrió el período de almacenamiento. En la figura 4 se observa que las muestras que tenían jugo de naranja y recibieron radiación UV-C mostraron mayores valores de nitrógeno. El contenido de nitrógeno en los tratamientos sin jugo registró la menor concentración presentando una variabilidad menor que los tratamientos con adición de jugo, siendo las muestras sin jugo y sin radiación UV-C las que menor contenido de nitrógeno presentaron.

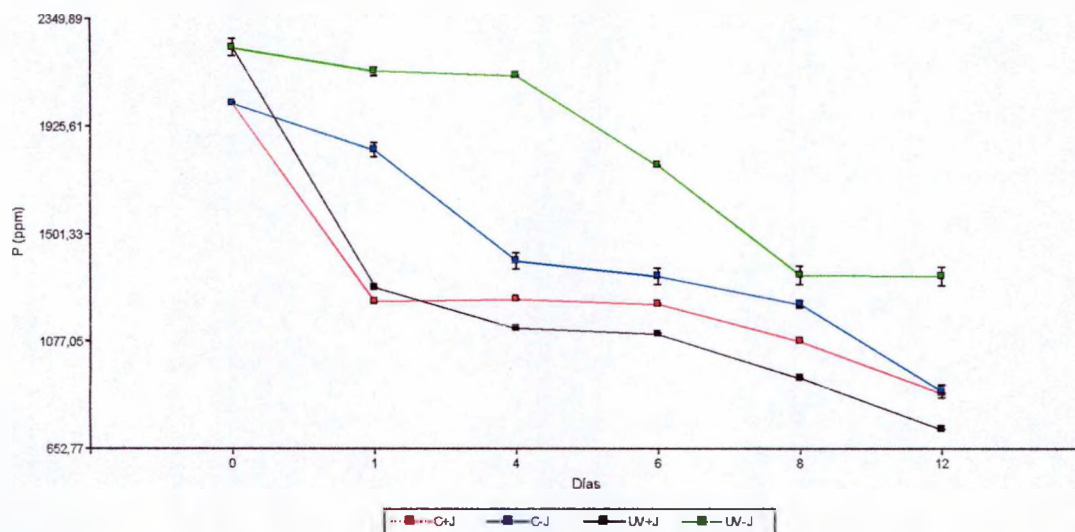


Figura 6: Concentración de fósforo en frutillas tratadas, en función del tiempo de almacenamiento.

Para el caso del fósforo, los valores fueron disminuyendo a lo largo del tiempo. Las muestras que presentaron mayores valores de fósforo para el día 12 fueron las tratadas con UV sin jugo. N

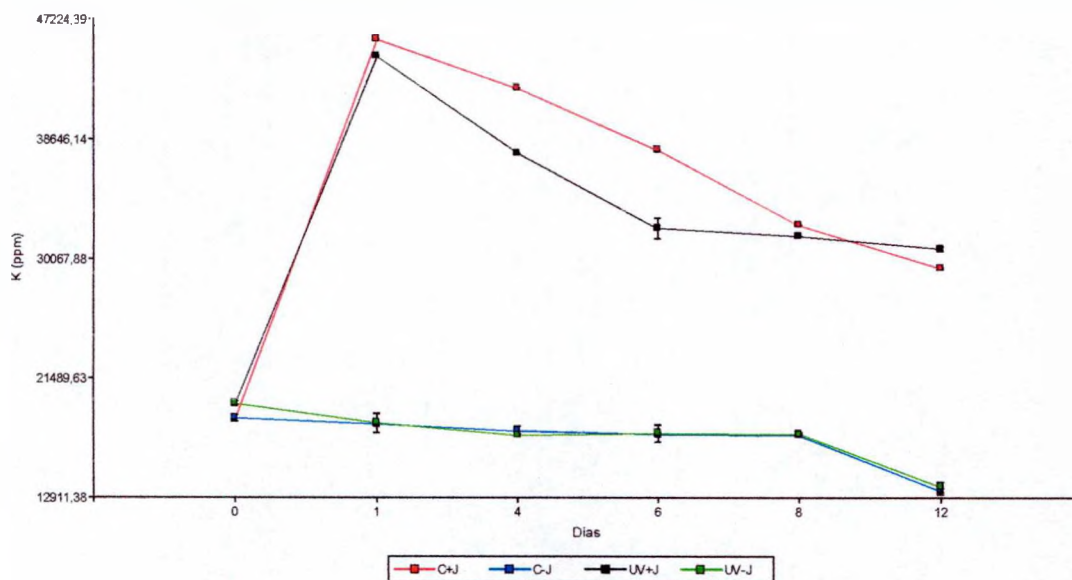


Figura 7: Concentración de Potasio en frutillas en función del tiempo para los cuatro tratamientos estudiados.

Las concentración de potasio en las muestras con adición de jugo, mostró un incremento a partir del primer día, luego del cual descendió al finalizar el ensayo de almacenamiento. Las muestras de frutilla sin jugo presentaron los menores valores de concentraciones de potasio.

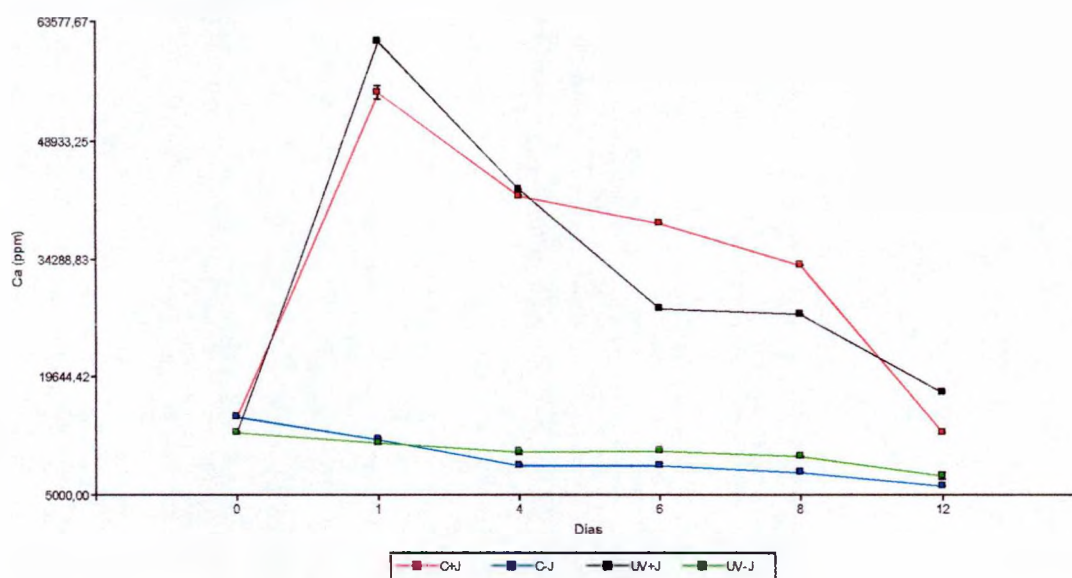


Figura 8: Concentración de Calcio en frutillas tratadas, en función del tiempo de almacenamiento.

La concentración de calcio disminuyó a lo largo del tiempo para los tratamientos que no tenían jugo, pero existió un aumento al día 1 y luego una disminución para las muestras

que tenían jugo adicionado. Las muestras con tratamiento ultravioleta fueron las que presentaron mayor concentración al finalizar el estudio. Para las muestras que no tenían jugo adicionado, se observó una disminución de las concentraciones.

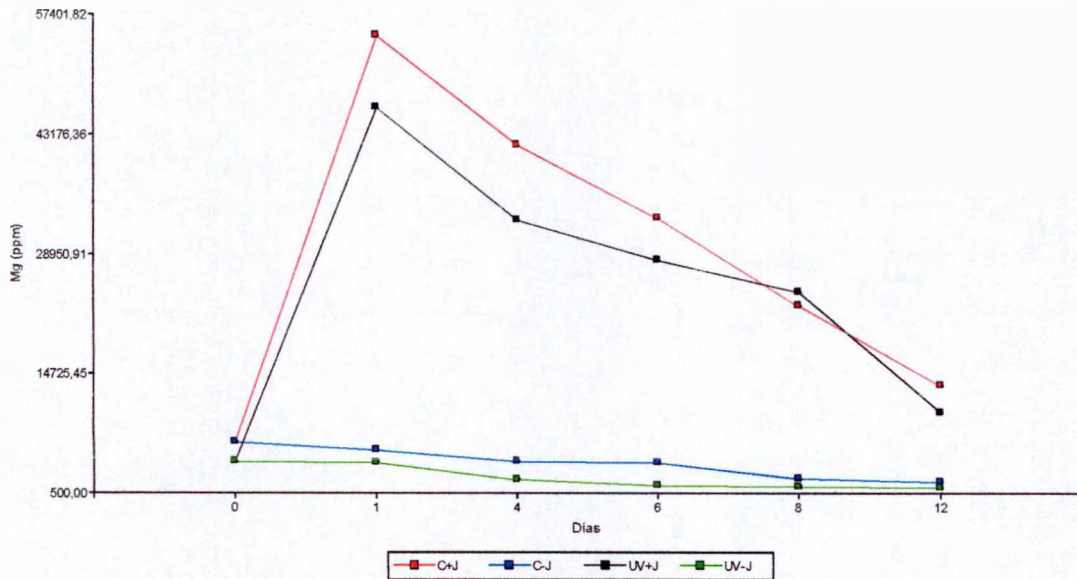


Figura 9: Concentración de Magnesio en frutillas tratadas, en función del tiempo de almacenamiento.

El magnesio presentó un comportamiento similar al del calcio, presentando una disminución a lo largo del tiempo, siendo las muestras con jugo las que presentaron mayor concentración promedio de magnesio pero para este caso las muestras control más jugo presentaron mayor concentración de magnesio al día 12.

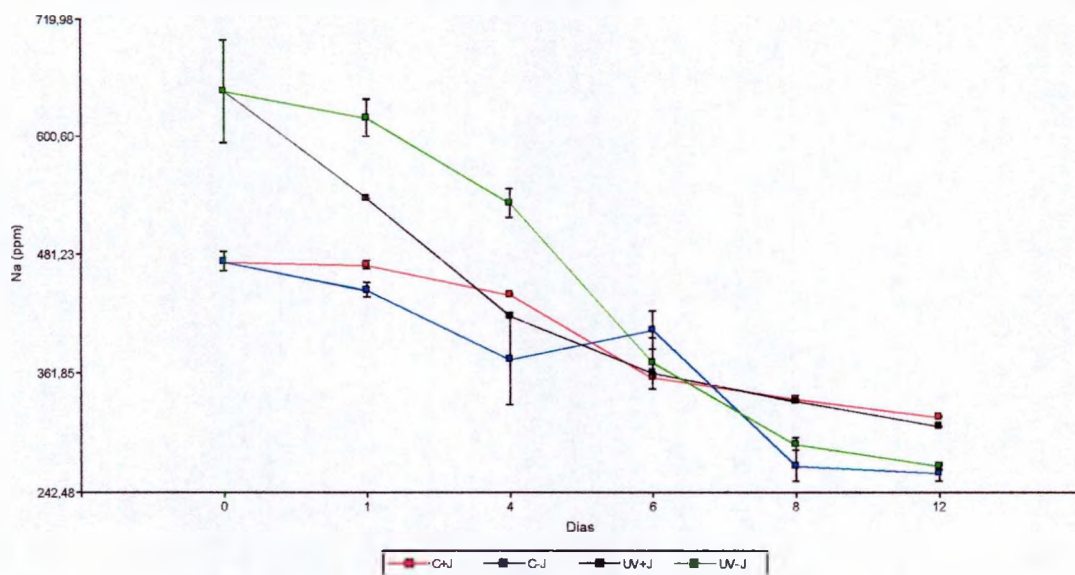


Figura 10: Concentración de Sodio en frutillas tratadas, en función del tiempo de almacenamiento.

Como se observa en la Figura 10, existió una disminución continua de la concentración de sodio a lo largo del tiempo. Las muestras que mayores concentraciones presentaron fueron las de control y ultravioleta más el agregado de jugo, sin embargo se observó el comportamiento de que aquellas muestras que no tenían jugo presentaron menor concentración de dicho elemento.

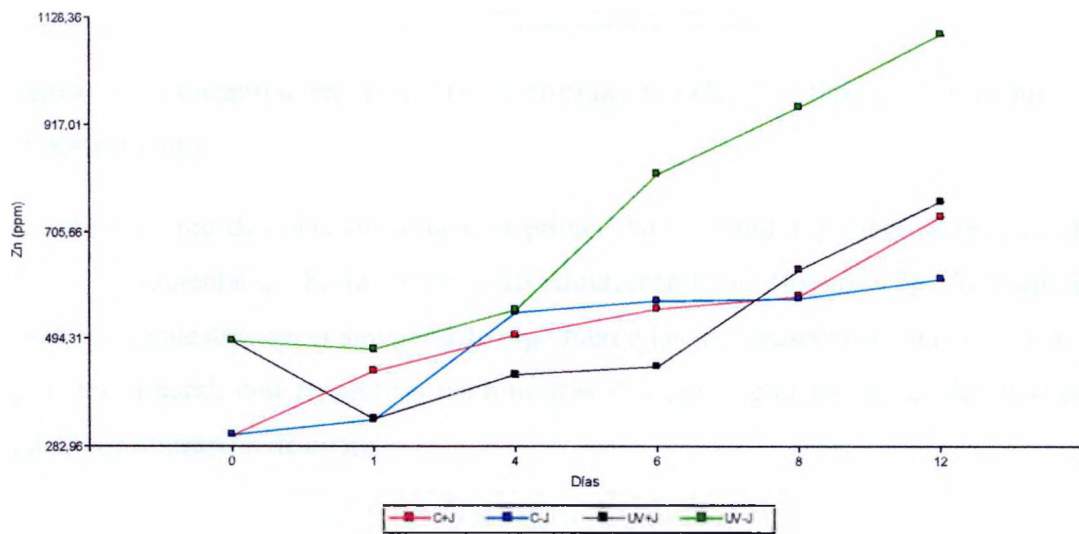


Figura 11: Concentración de Cinc en frutillas tratadas, en función del tiempo de almacenamiento.

En cuanto al cinc, las concentraciones aumentaron durante el almacenamiento, siendo las muestras que recibieron radiación UV-C sin el agregado de jugo, las que mayores valores de concentración presentaron.

CONCLUSIONES

- 1- El tratamiento con radiación UV-C en frutilla tuvo impacto sobre su calidad sensorial, aumentando el dulzor, el aroma y el color, no así para la textura dado que frutas sometidas a UV-C disminuyeron su textura en comparación con las que no recibieron dicha radiación, pero mantuvieron mayores valores de textura a durante días, en comparación con las frutas no tratadas. Las frutas sometidas a radiación UV-C retrasaron su senescencia y así fue extendida su vida postcosecha, por disminución de la carga microbiana en especial por microorganismos como los hongos, debido al efecto germicida que posee la radiación UV-C.
- 2- Las frutillas tratadas con UV-C aumentaron la actividad respiratoria, pero mantuvieron una tasa de respiración menor a lo largo del tiempo con respecto a las no tratadas.
- 3- Las frutas tratadas con UV-C aumentaron la concentración de azúcares libres más rápidamente con respecto a las no tratadas.
- 4- La conductividad eléctrica de la pulpa aumentó en las frutas tratadas con UV-C y en las no tratadas. Aquellas frutas que recibieron dosis más altas de radiación UV-C presentaron mayor conductividad eléctrica a lo largo del tiempo, en contraposición a las no tratadas.
- 5- La radiación UV-C no presentó efectos sobre los contenidos totales de compuestos fenólicos, ya que no se evidenciaron diferencias entre frutas tratadas y no tratadas con radiación. Sin embargo, se observó una disminución de procianidinas y de ácido elálgico y derivados, y también de p-cumaroil glucosa, a lo largo del tiempo en frutas tratadas con UV-C.
- 6- Se observó un aumento de la concentración de las antocianinas en frutas tratadas con UV-C, pero se registró poca diferencia en el contenido entre diferentes tratamientos de distintas dosis de UV-C probadas.
- 7- En el caso de los macroelementos estudiados en la pulpa de frutilla, el contenido de nitrógeno aumentó durante el almacenamiento en aquellas muestras tratadas con radiación UV-C más el agregado de jugo de naranja. Los demás macroelementos como el calcio, magnesio, potasio y sodio presentaron un comportamiento similar disminuyendo a lo largo del tiempo. Los microelementos como el cinc, cobre y el manganeso registraron un aumento en

la concentración en la pulpa de frutilla durante el almacenamiento, a diferencia del hierro que registró una disminución de las concentraciones del mismo durante el mismo período.

- 8- La aplicación de radiación UV-C aumentó la capacidad antioxidante de la frutilla, detectándose los mayores aumentos en las muestras que no contenían jugo agregado. En el estudio de actividad antioxidante para los dos tipos diferente de reactivo, ABTS⁺ y DPPH, para todos los tratamientos estudiados, el porcentaje de inhibición del DPPH fue mayor en todos los casos, siendo los controles y los que recibieron radiación UV-C sin el agregado de jugo de naranja los que mayores valores de porcentaje de inhibición presentaron.

BIBLIOGRAFÍA

- Allende, A., Marín A., Buendía B., Tomás-Barberán F., Gil M. I., (2007). Impact of combined postharvest treatments (UV-C light, gaseous O₃, superatmospheric O₂ and high CO₂) on health promoting compounds and shelf-life of strawberries. *Postharvest Biology and Technology*. 46, 201–211.
- Baka M., Mercier J., Corcuff R., Castaigne F., Arul J., (1999). Photochemical treatment to improve storability of fresh strawberries. *Journal of Food Science*. 64(6): 1068- 1072.
- Beltrán Alban, A. J., 2010. Estudio de la vida útil de fresas (*Fragaria vesca*) mediante tratamiento con luz ultravioleta de onda corta UV-C. Tesis de Grado. Facultad de Ciencias e Ingeniería en Alimentos. Universidad Técnica de Ambato.
- Cano, A. y Arnao, M. B., 2004. Actividad antioxidante hidrofílica y lipofílica y contenido en vitamina c de zumos de naranja comerciales: relación con sus características organolépticas. *Ciencia Tecnología Alimentaria*. Vol. 4 (3): 185-189.
- Cantos E., Garcia-Viguera C., De Pascual-Teresa S., Tomas-Barberan F.A., (2000). Effect of postharvest ultraviolet irradiation on resveratrol and other phenolics of cv.Napoleon table grapes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 48(10): 4606-4612.
- Cantillano R.F.F.; Ávila J.M.M.; Peralba M.C.R.; Pizzolato T.M.; Toralles R.P., 2012. Actividad antioxidante, compuestos fenólicos y ácido ascórbico de frutillas en dos sistemas de producción. *Horticultura Brasileira*. 30: 620-626.

- Civello, P.M., Vicente, A.R., Martínez, G.A., 2007. UV-C technology to control postharvest diseases of fruits and vegetables. In: Recent Advances in Alternative Postharvest Technologies to Control Fungal Diseases in Fruit and Vegetables. Transworld Research Network, pp. 71–207.
- Cotea S., Rodonia L., Micelib E., Concellóna A., Civello P. M., Vicente A. R., (2013). Effect of radiation intensity on the outcome of postharvest UV-C treatments. *Postharvest Biology and Technology*. 83, 83-89.
- Cote Daza S. P., 2011. Efecto de la intensidad de la radiación UV-C sobre la calidad sensorial, microbiológica y nutricional de frutos. Tesis de Maestría. Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecología de Alimentos. Facultad de Ciencias Exactas. Universidad Nacional de La Plata.
- Droby S., Chalutz E., Horev B., Cohen L., Gaba V., Wilson C. L., Wisniewski M., (1993). Factors affecting UV-induced resistance in grapefruit against the green mould decay caused by *Penicillium digitatum*. *Plant Pathology*. 42(3): 418-424
- Du, Wen-Xian, Avena-Bustillos R. J., Breksa A. P., McHugh T. H., (2014). UV-B light as a factor affecting total soluble phenolic contents of various whole and fresh-cut specialty crops. *Postharvest Biology and Technology*. 93, 72-82.
- Erkan M., Wang C. Y., Krizek D. T., (2001). UV-C irradiation reduces microbial populations and deterioration in *Cucurbita pepo* fruit tissue. *Environmental and Experimental Botany*. 45: 1-9
- Erkan M., Wang S. Y., Wang C. Y., (2008). Effect of UV treatment on antioxidant capacity, antioxidant enzyme activity and decay in strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*. 48, 163-171.
- Gonzalez-Aguilar G., Wang C. Y., Buta G.J., (2004). UV-C irradiation reduces breakdown and chilling injury of peaches during cold storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 84(5): 415-422.
- González-León A., Valenzuela Quintanar A.I., (2007). The postharvest use of synthetic fungicides, implications on human health. In *Recent Advances in Alternative Postharvest Technologies to Control Fungal Diseases in Fruit and Vegetables*, Transworld Research Network pp 1-20.
- Guerrero-Beltrán J.A., Barbosa-Cnovas G.V., (2004). Advantages and limitations on processing foods by UV light. *Food Science and Technology International*. 10 (3): 137-147.

- Jagadeesh S., Charles M., Garipey Y., Goyette B., Raghavan G., Vigneault C., (2009). Influence of postharvest UV-C hormesis on the bioactive components of tomato during Post-treatment handling. *Food and Bioprocess Technology*. (4):1463–1472
- Kirschbau, D., Hancock, Y. J., 2000. The strawberry industry in south america. *Hort Science American Society For Horticultrual Science*. 35 (5): 807-811.
- Liu J., Stevens C., Khan V.A., Lu J.Y., Wilson C.L., Adeyeye O., Kabwe M.K., Pusey P.L, Chalutz E., Sultana T., Droby S.,(1993). Application of ultraviolet-C light on storage rots and ripening of tomatoes. *Journal of Food Protection*. 56(10): 868-872
- Molina, N. A., 2015. Produccion Citrícola Correntina. Publicación de estación experimental INTA Bella Vista. Serie técnica N° 53.
- Nigro F., Ippolito A., Lattanzio V., Di Venere D., Salerno M., (2000). Effect of ultraviolet-C light on postharvest decay of strawberry. *Journal of Plant Pathology*. 82: 29-37
- Pan J., Vicente A.R., Martinez G.A., Chaves A.R., Civello P.M., (2004). Combined use of UV-C irradiation and heat treatment to improve postharvest life of strawberry fruit. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 84: 1831-1838
- Pombo, M., (2009). Irradiación de frutillas con UV-C: Efecto sobre la síntesis de proteínas, degradación de la pared celular y mecanismos de defensa. Tesis Doctoral. Laboratorio de Bioquímica y Fisiología de la Maduración y Senescencia (UB-4) IIB-INTECH (Chascomús).
- Pombo M. A., Rosli H. G., Martíneza G. A., Civello P. M., (2011). UV-C treatment affects the expression and activity of defense genes in strawberry fruit (*Fragaria×ananassa*, Duch.). *Postharvest Biology and Technology*. 59, 94-102.
- Shama G., Alderson P., (2005). UV hormesis in fruits: A concept ripe for commercialisation. *Trends in Food Science and Technology*. 16(4): 128-136
- Stevens C., Khan V.A., Wilson C.L, Lu J. Y., Chalutz E., Droby S., (2005). The effect of fruit orientation of postharvest commodities following low dose ultraviolet light-C treatment on host induced resistance to decay. *Crop Protection*. 24(8): 756-759.
- Vicente A.R., Repice B., Martínez G.A., Chavez A.R., Civello P.M., Sozzi G.O., (2004). Maintenance of fresh boysenberry fruit quality with UV-C light and heat

treatments combined with low storage temperature. *The Journal of Horticultural Science & Biotechnology*. 79: 246-251