

Estudio de la Vida Útil de Fresas (*Fragaria vesca*) Mediante Tratamiento con Radiación Ultravioleta de Onda Corta (UV-C)

A. Beltrán¹, M. Ramos², M. Alvarez³

^{1,2,3}Universidad Técnica de Ambato, Ingeniería en Alimentos,

Unidad Operativa de Investigación de Tecnología de Alimentos (UOITA),

Campus Académico Huachi-Av, Los Chasquis y Río Payamino, Ambato, Ecuador

¹angel_beltran40@hotmail.com, ²miltonramos8@hotmail.com, ³marioferalv@hotmail.com

Resumen

La presente investigación consistió en determinar el efecto de la luz UV-C en la calidad de la fresa (*Fragaria vesca*) variedad diamante, con el propósito de alargar su tiempo de vida útil, puesto que la fresa es un alimento perecedero, dada su alta tasa de respiración y su gran susceptibilidad al hongo *Botrytis cinerea*. Los resultados de la caracterización físico-química, calidad microbiológica y análisis sensorial, permitieron determinar el tiempo máximo de conservación de la fresa (*Fragaria vesca*), el cual es de 10 días en refrigeración donde el tiempo de incidencia de la luz UV-C y la distancia de las lámparas a la fresa tiene un papel preponderante. El mejor tratamiento fue la combinación que corresponde a una distancia de 40 cm de la fruta a la lámpara por un tiempo de exposición de 7,5 min. Los análisis que se realizaron en las frutas de los diversos tratamientos, fueron: vitamina C, °Brix, azúcares reductores, penetrabilidad y contenido de antocianinos. En la combinación 40cm con 7,5 min las fresas presentaron los siguientes valores: 43,4mg vitamina C/100g; 9,3°Brix; 6,8mg glucosa/100g fresa; 0,5 kg/cm² y 0,0308 nmol de glucósido 3 pelargonidina/g fresa respectivamente. El contenido microbiano determinó valoraciones de 2,0x10² UFC/g para bacterias, 2,4 x10² UFC/g para mohos y levaduras y, 5,5 x10¹ UFC/g para coliformes totales; seguidamente se cuantificó los parámetros sensoriales en atributos como aroma, color, dulzor y textura, teniendo como resultado un producto inocuo con buenas características organolépticas y aptas para el consumo.

Palabras Claves: Vida útil, fresas, tratamientos UV-C, conservación.

Abstract

The current study involved the evaluation of the effect of UV-C light on the quality of *Fragaria vesca* variety diamond with the purpose of increasing the shelf life of this products which is highly perishable due to its breathing rate and its great susceptibility to the mold *Botrytis*. The results of the characterization physical-chemistry, quality microbiology and sensorial analysis, they allowed to determine the maximum time of conservation of the strawberry (*Fragaria vesca*), which is of 10 days in refrigeration where the time of incidence of the light UV-C and the distance of the lamps to the strawberry has a preponderant paper. The best treatment was the combination that it corresponds at a distance of 40 cm from the fruit to the lamp for a time of exhibition of 7,5 min. The parameters that analyzed for the best treatment were: vitamin C, °Brix, sugars reducers, penetrability and antocianinos content, with values of 43,41mg vitamin C/100g, 9,3°Brix, 6,88mg/100g of strawberry, 0,5 kg/cm² and 0,0308 nmol of glucosido 3 pelargonidina/g strawberry, respectively. The microbial content determined valuations of 2,0 x10² UFC/g for bacterias, 2,4 x10² UFC/g for molds and yeasts and, 5,5 x10¹ UFC/g for total coliformes; subsequently it was quantified the sensorial parameters in attributes as aroma, color, sweetness and texture, having as a result an innocuous product with good characteristic organolepticas and capable for the consumption.

Key words: useful life, strawberries, treatments UV-C, conservation.

1. Introducción

Ecuador produce anualmente alrededor de 30 000 toneladas métricas de fresas. El 60 % de tal volumen es para el consumo nacional en fruta fresca o procesada en forma de helados, yogur y mermeladas. El resto se exporta a EE.UU, España y los Países Bajos. La extensión de su cultivo en Ecuador ha mostrado una tendencia creciente de un 20 y 30 por

ciento anual, debido a que el cultivo es de fácil manejo y ocupa la mano de obra familiar [1].

La fresa es una fruta no climatérica, altamente apreciada por los consumidores debido a sus excelentes propiedades organolépticas. Sin embargo, su conservación constituye un problema para los productores y la industria.

La fresa es infectada por *Botrytis cinerea* en el campo, permaneciendo en estado latente hasta alcanzar las condiciones atmosféricas adecuadas para generar esporas. Estas esporas se diseminan en los periodos de lluvia, depositándose en distintas partes de la planta. Inicialmente se ponen de manifiesto a nivel de la flor, localizándose en la base del receptáculo, pero con la maduración del fruto se vuelven visibles coincidiendo con el periodo de postcosecha. Finalmente, cuando las condiciones son las adecuadas, crece rápidamente destruyendo totalmente a la fresa [2].

La irradiación ultravioleta (UV-C) es una tecnología alternativa a la esterilización química, utilizada para reducir el crecimiento de microorganismos en alimentos. La luz ultravioleta es una radiación no ionizante con una longitud de onda de 100 a 400 nm; se clasifica en tres tipos: UV-A (315-400 nm), UV-B (280-315 nm) y UV-C (200-280 nm). La irradiación UV-C tiene su máximo pico de emisión a 254 nm y se ha comprobado que en esta longitud de onda presenta su mayor acción germicida, por lo que ha sido ampliamente estudiada en varios tejidos vegetales. Se conoce que el mecanismo directo de acción de la irradiación UV-C en la inactivación microbiana reside en el daño que causa al ADN y generan así mutaciones que bloquean la replicación celular, la cual si no es reparada conduce a la muerte celular. También actúa de manera indirecta al inducir mecanismo de resistencia por acumulación de compuestos fungicidas como fenoles, flavonoides y poliamidas [3].

La aplicación de la irradiación UV-C en frutas y hortalizas ha resultado un sistema efectivo para prolongar la vida útil de estos productos por ser letal para la mayoría de microorganismos. La aplicación en fresas para controlar la pudrición causada por *Botrytis cinerea*, con dosis de $0,25 * 10^3 \text{ kgfs}^{-2}$ resulta efectiva a temperatura de almacenamiento de 4 a 13 °C y aumenta la vida de anaquel del fruto de 4 a 5 días [4].

Erkan M, y Wang, D. Mencionan que existe una reducción significativa en la población microbiana de rebanadas de calabaza después de ser tratadas con UV-C en dosis de $4,93$ y $9,86 * 10^3 \text{ kgf s}^{-2}$ [5].

La luz UV-C adicionalmente induce mecanismos de defensa en tejido vegetal metabólicamente activo, provocando la producción de fitoalexinas, ésta puede estar acompañada por otros mecanismos de defensa tales como modificaciones de la pared celular, enzimas de defensa y aumento en la actividad antioxidante, este último ha sido relacionado con posibles beneficios a la salud de los consumidores. Mercier, J; 1993. Menciona que el tratamiento con UV-C induce la acumulación de poliaminas, las cuales pueden actuar como antioxidantes en frutos de mango y duraznos, causando una reducción de los síntomas de daño por frío y el deterioro de los frutos. Actualmente el contenido de antioxidantes es considerado un parámetro importante de la calidad de frutas y hortalizas, siendo de gran interés evaluar los cambios en el estado de éstos

después de aplicar nuevas tecnologías emergentes de conservación como tratamientos con UV-C [6].

Recientemente, se ha incrementado el interés por la aplicación de la luz UV-C en zumos de vegetales y frutas, por ser un proceso no térmico capaz de preservar las características del producto fresco y alargar su vida útil. Actualmente, se están comercializando en EE.UU, cuatro jugos de frutas tratados con luz UV-C: zanahoria, zanahoria orgánica y dos mezclas de frutas. El éxito de esta técnica ha llevado a expandir su aplicación a otras bebidas como el té, de gran popularidad en el sur de EE.UU [7].

2. Materiales y Métodos

2.2. Materiales

Se utilizó fresas del género (*Fragaria vesca*) variedad diamante proveniente de la provincia de Tungurahua, Cantón Cevallos. Los frutos se ubican dentro de las categorías primera y segunda, cosechadas en estado de madurez adecuada.

2.3. Métodos

La investigación se ejecutó en la Unidad de Investigación en Tecnología de Alimentos de la Universidad Técnica de Ambato. El propósito de la irradiación UV-C involucro las siguientes operaciones:

2.3.1. Descripción del proceso de aplicación de la radiación UV-C en fresas (*Fragaria vesca*).

- **Recepción.-** Se recibió fresa de buena calidad, especialmente que provenga de los mismos agricultores y productores de la fruta para así evitar maltratos de la fruta por la deficiente manipulación en los mercados.
- **Selección.-** El propósito que se persigue en esta operación es separar las fresas que se encuentren golpeadas, manchadas o que estén en mal estado y puedan contaminar al resto de fruta.
- **Lavado.-** Con esta operación se trata de disminuir la cantidad de microorganismos, basuras y otros residuos extraños que contenga la fruta. Después de este proceso se realizan los análisis físicos para la caracterización de la fruta.
- **Tratamiento UV-C.** El equipo que se utilizó para el desarrollo de la fase experimental fue diseñado por los investigadores, el cual consiste en una cámara construida de madera de $60 * 60 * 30$ cm, recubierta con paredes de aluminio. En su interior se encuentra dos lámparas de UV-C de mercurio de 40 cm y de 15 W de potencia cada una; tiene tres bandejas de $60 * 30$ cm ubicadas a la distancia de 30, 40, 50 cm de las lámparas. Para el tratamiento UV-C se coloca 1 kg de fresas sin pedúnculos y lavadas.

2.3.2. Diseño experimental. Se utilizó un factorial A*B, con tres replicas. Los factores y niveles de estudio fueron:

- A. Distancias de las lámparas UV-C a la fruta
 - $a_0 = 30 \text{ cm}$
 - $a_1 = 40 \text{ cm}$
 - $a_2 = 50 \text{ cm}$
- B. Tiempo de exposición de las fresas a la luz UV-C
 - $b_0 = 5 \text{ min}$
 - $b_1 = 7,5 \text{ min}$
 - $b_2 = 10 \text{ min}$

Una vez que la fruta fue tratada se la dejó enfriar a temperatura ambiente, debido a que durante el tratamiento con radiación UV-C la temperatura tiende a elevarse de 2 a 3°C en la superficie de la fruta con relación a la temperatura ambiente (18°C). Seguidamente se procedió a su análisis físico- químico y microbiológico.

Para los análisis estadísticos se utilizó el paquete estadístico Statgraphics, complementado con una prueba de comparación múltiple de Tukey.

2.3.3. Almacenamiento en refrigeración de las fresas tratadas. Se envasó las fresas provenientes del mejor tratamiento en bandejas de polipropileno para su posterior almacenamiento en refrigeración a 5 °C. Este tipo de envases actualmente se está utilizando para la comercialización de las fresas en los supermercados. Se realizó recuento de microorganismos cada 48 horas, para determinar el contenido de bacterias, mohos y levaduras durante dos semanas de almacenamiento.

2.3.4. Parámetros de control de calidad de las fresas (*Fragaria vesca*) sin y con tratamiento UV-C

La humedad, método AOAC, 2002. Official Method 934.06 Moisture in Fruits First Action 1984 Final Action Codex-Adopted-AOAC Method. [8].

Los azúcares reductores por el método de Lane y Eynon (AOAC, 2002) [8].

La Vitamina C, método volumétrico, en el cual la vitamina C decolora el indofenol (2,6 dicloro fenol indofenol). Los resultados se expresaron en mg/100g de muestra (AOAC, 2002) [8].

Los sólidos, método AOAC, 2002. Official Method 932.12Solids (Soluble) in Fruits and Fruit Products Refractometer. Method First Action 1932 Final Action 1980 [8].

Acidez titulable, método 942.15 AOAC Official Method, 2002. Acidity (Titratable) of Fruit Products, First Action 1942 [8].

Firmeza, se utilizó un penetrómetro POCKET Penetrometer operation S-170B, Nickel Plated. Body. Manufacturado en EEUU.

El pH de la fruta, método AOAC, 2002. Official Method 981.12pH of Acidified Foods First Action

1981 Final Action 1982. El equipo utilizado fue un pHmetro OAKLON [8].

La infección fúngica se determinó mediante la cantidad de frutos dañados después de 5 días de almacenamiento al ambiente, Ariel, 2004 [9].

La calidad microbiológica se evaluó por medio de recuento total de bacterias mesófilas, hongos y levaduras en base a las normas INEN 1529-7, INEN 1529-5.

La cuantificación de la concentración de antocianos corresponde a la medida del color total de la fresa. Las fresas se manejan siguiendo un protocolo de análisis para la obtención de antocianos totales basado en el método de Sanz (1999), reportado por Almenar, E. (2005) [2].

3. Resultados y discusión

3.1. Análisis microbiológicos de las fresas tratadas por UV-C

Tabla 1. Infección fúngica, bacterias mesófilas y mohos y levaduras en fresas tratadas con UV-C

Factores	Infección Fúngica (fracción)	Bacterias mesófilas (UFC/g fresa)	Mohos y levaduras (UFC/g fresa)
FST*	0,96±0,51	2,5 x10 ³	9,8x10 ²
a ₀ b ₀	0,47±0,12 _a	7,2x10 ² _b	2,1x10 ² _a
a ₀ b ₁	0,33±0,06 _a	7,5x10 ² _b	5,5x10 ² _a
a ₀ b ₂	0,47±0,25 _a	6,6x10 ² _b	3,8x10 ² _a
a ₁ b ₀	0,43±0,21 _a	1,4x10 ² _a	2,2x10 ² _a
a ₁ b ₁	0,37±0,12 _a	2,0x10 ² _a	2,4x10 ² _a
a ₁ b ₂	0,53±0,21 _a	2,4x10 ² _a	2,2x10 ² _a
a ₂ b ₀	0,53±0,23 _a	3,3x10 ² _{ab}	3,4x10 ² _a
a ₂ b ₁	0,53±0,15 _a	3,1x10 ² _{ab}	3,8x10 ² _a
a ₂ b ₂	0,57±0,25 _a	4,6x10 ² _{ab}	3,8x10 ² _a

*FST= fresas sin tratamiento UV-C

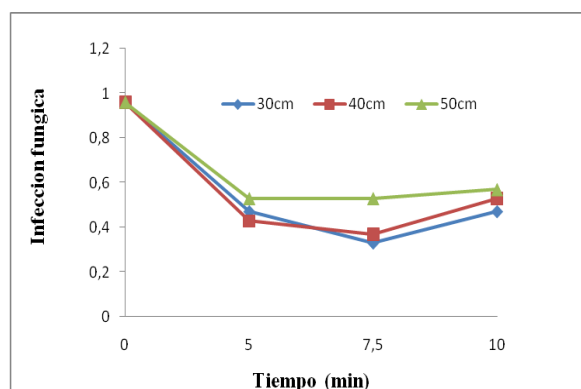


Figura 1. Infección fúngica en fresas tratadas con UV-C

3.1.1. Infección fúngica. Para analizar la influencia de la radiación UV-C en las fresas se expresó la infección fúngica, relacionando el número de fresas infectadas por hongos en 10 fresas, estos valores se presenta en la

Tabla 1 y se representa en la Figura 1. Los tratamientos de radiación producen una disminución de las fresas dañadas, en el gráfico se ve que los tratamientos a_0b_1 (30 cm; 7,5 min) y a_1b_1 (40 cm; 7,5 min) fueron los que tienen tendencia a tener menos infección, con valores de 0,33 y 0,37, respectivamente, correspondiente a las distancia de 30 y 40 cm de la fresas tratada a la lámpara UV-C con un tiempo de exposición de 7,5 minutos.

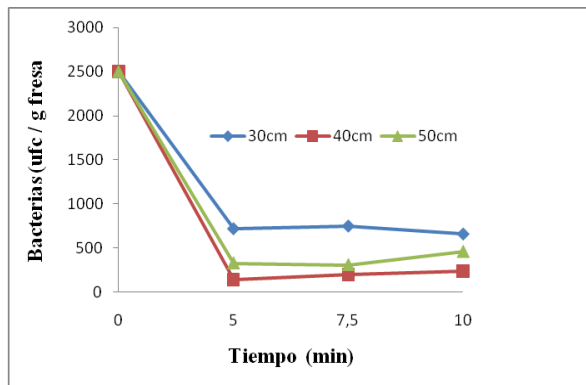


Figura 2. Recuento total de bacterias mesófilas (UFC/g fresa) en fresas tratadas con UV-C

3.1.2. Bacterias. En la Tabla 1 y Figura 2 se indica el recuento total de bacterias mesófilas expresados en UFC/g de fresa. Se puede observar que los tratamientos que tienen menor contenido de bacterias después de la radiación son: a_1b_0 (40cm; 5min), a_1b_1 (40cm; 7,5min) y a_1b_2 (40cm; 10min) con valores de $1,4 \times 10^2$ UFC/g de fresa, $2,0 \times 10^2$ UFC/g de fresa y $2,40 \times 10^2$ UFC/g de fresa respectivamente. Por consiguiente, la distancia de 40 cm de la lámpara UV-C con respecto a la fresa que se está irradiando es la que mejor efecto produce en la disminución bacteriana.

Las bacterias presentes en la fruta se ven afectadas considerablemente, ya que al comparar el contenido de bacterias mesófilas en las fresas sin tratamiento ($2,5 \times 10^3$ /g fresa), dicho contenido disminuye en un 92% por efecto de la radiación. Consecuentemente se comprueba que los tratamientos con UV-C reducen las cargas microbianas presentes en las frutas.

Los resultados estadísticos del recuento total de bacterias mesófilas determina que existe diferencia significativa ($\alpha=0,05$) para el efecto de la A (distancia) y no así para la interacción entre la distancia de la fruta a la lámpara ni en el tiempo de exposición.

Se puede manifestar que a una distancia de 40cm por un tiempo de exposición de 5 a 10 minutos, la actividad germicida es más efectiva.

3.1.3. Mohos y levaduras. Considerando que los tratamientos con luz UV-C reducen significativamente el número de UFC/g de fruta, se realizaron recuentos con la finalidad de determinar si los tratamientos controlaban la incidencia de los mohos y levaduras. En la Tabla 1, se presentan los valores de mohos y

levaduras en UFC/g de fresa tratadas con UV-C para cada tratamiento. En la Figura 3, se observa que todos los tratamientos reducen el contenido de hongos y levaduras y que su análisis de varianza indica que no existe diferencia significativa con respecto a la distancia de la fruta a la lámpara, ni el tiempo de exposición. La radiación a los cinco minutos tiene el mismo efecto que si las fresas se trataran a 7,5 y 10 minutos, su reducción va desde el 43% hasta el 78%.

En consecuencia, se puede manifestar que los tratamientos con UV-C reducen el contenido de hongos y levaduras presentes en las fresas.

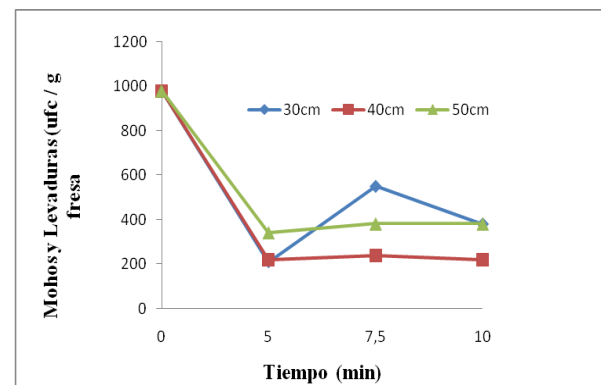


Figura 3. Recuento de mohos y levaduras (UFC/g fresa) en fresas tratadas con UV-C

3.2. Análisis químico de las fresas tratadas con UV-C

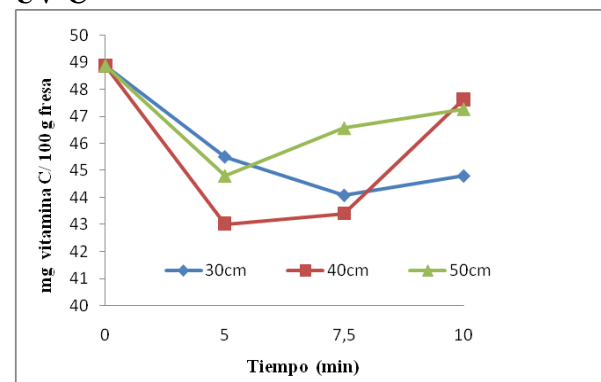


Figura 4. Contenido de Vitamina C (mg/100g fresa) en fresas tratadas con UV-C

3.2.1. Vitamina C. En la Tabla 2 y Figura 4, se expresa los valores de concentración de vitamina C en mg vitamina C/100g fruta, obtenidas a partir de las fresas tratadas con UV-C. Los tratamientos de las fresas con radiación UV-C producen una disminución de la vitamina que va desde 2,5 a 12,0 %. Los tratamientos a_1b_2 (40cm; 10min) y a_2b_2 (50cm; 10min) tienen valores de 47,64 y 47,28 mg vitamina C/100g fresa respectivamente. Las fresas no tratadas tienen un promedio de 48,89. La pérdida de vitamina C durante el tratamiento UV-C se debió a que durante la radiación de la fruta se incremento la temperatura de la fresa de 19°C a 21°C, que pudo haber activado

reacciones metabólicas y enzimáticas en la que interviene en la fruta.

3.2.2. Sólidos Solubles. En la Tabla 2 se registra los °Brix de las fresas que fueron obtenidos luego de haber sido tratado con luz UV-C, a las distintas combinaciones de distancias y tiempos. Nótese que en la Figura 5, la tendencia de los valores es ascendente conforme el tratamiento UV-C es más severo en las fresas que fueron puestos a la radiación a la distancia de 50cm y por tiempos de 7,5 y 10 minutos, en cambio la tendencia es a mantenerse sin mucha variación cuando la fruta es puesta a 40 cm de la lámpara. Al comparar estos valores con las fresas frescas sin tratamiento, las cuales poseen 9,2 podemos decir que no existe variación significativa en las fresas tratadas con la radiación en los diferentes tratamientos ($\alpha < 0,05$).

Tabla 2. Contenido de Vitamina C, Sólidos solubles y Antocianinos en fresas tratadas con UV-C

Factores	mg vitamina C/100 g	Sólidos Solubles (°Brix)	Antocianinos (glucósido 3 - pelargonidina/g fresa)
FST*	48,89±0,81	9,2±0,91	0,024±0,012
a ₀ b ₀	45,51±1,63 _a	9,3±1,43 _a	0,030±0,017 _a
a ₀ b ₁	44,08±5,47 _a	8,9±1,04 _a	0,029±0,011 _a
a ₀ b ₂	44,8±3,85 _a	9,0±0,54 _a	0,026±0,011 _a
a ₁ b ₀	43,02±6,25 _a	9,2±0,37 _a	0,024±0,005 _a
a ₁ b ₁	43,41±4,90 _a	9,3±0,52 _a	0,030±0,007 _a
a ₁ b ₂	47,64±1,63 _a	9,1±0,27 _a	0,024±0,012 _a
a ₂ b ₀	44,8±3,85 _a	8,9±1,03 _a	0,022±0,013 _a
a ₂ b ₁	46,57±1,23 _a	9,6±0,91 _a	0,024±0,012 _a
a ₂ b ₂	47,28±3,43 _a	9,6±1,03 _a	0,023±0,009 _a

*FST= fresas sin tratamiento UV-C

3.2.3. Antocianinos. En la Tabla 2, se presentan los valores de antocianinos expresados en concentración nmol de glucósido 3–pelargonidina/g de fresa. En la Figura 6, se puede observar que a una distancia de 40 cm durante 7,5 minutos de exposición de las fresas a la luz UV-C, el contenido de antocianinos tiende a aumentar. Un análisis sensorial de fresas tratadas a estas condiciones con las fresas no tratadas, los catadores identifican un mejor color en las tratadas con UV-C.

En general se observa que los tratamientos con luz UV-C su análisis de varianza no presenta diferencia significativa ($\alpha < 0,05$) tanto en la distancia de la fruta a las lámparas de UV-C como en el tiempo de radiación.

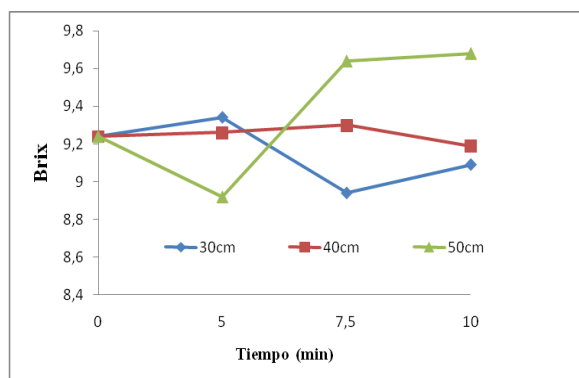


Figura 5. Sólidos Solubles (°Brix) en fresas tratadas con UV-C

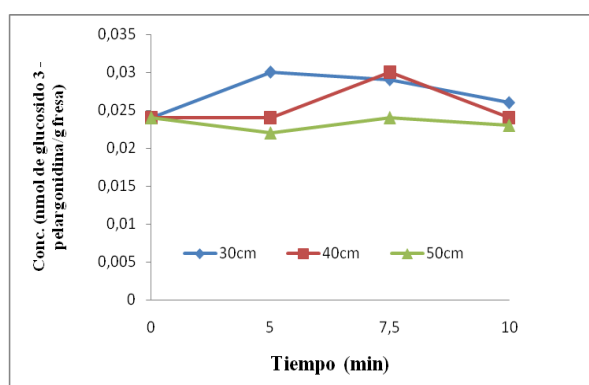


Figura 6. Contenido de antocianinos en fresas tratadas con UV-C

Tabla 3. Contenido de Azúcares Reductores, Firmeza y Porcentaje de Humedad en fresas tratadas con UV-C

Factores	Azúcares Reductores g glucosa/100 g fresa	Firmeza (kg/cm ²)	Humedad [%]
FST*	6,1±0,56	0,7±0,35	94,79±4,21
a ₀ b ₀	5,9±1,26 _a	0,4±0,08 _b	88,59±4,72 _a
a ₀ b ₁	5,8±1,26 _a	0,4±0,12 _b	90,97±3,02 _a
a ₀ b ₂	6,3±0,59 _a	0,4±0,17 _b	90,80±2,97 _a
a ₁ b ₀	6,6±0,17 _a	0,6±0,32 _a	93,03±4,34 _b
a ₁ b ₁	6,6±0,10 _a	0,4±0,11 _a	93,80±5,90 _b
a ₁ b ₂	6,2±0,24 _a	0,6±0,14 _a	94,92±5,22 _b
a ₂ b ₀	6,0±0,48 _a	0,5±0,27 _a	91,55±2,74 _{ab}
a ₂ b ₁	6,2±0,70 _a	0,6±0,32 _a	92,59±3,71 _{ab}
a ₂ b ₂	6,4±0,60 _a	0,5±0,22 _a	94,02±4,20 _{ab}

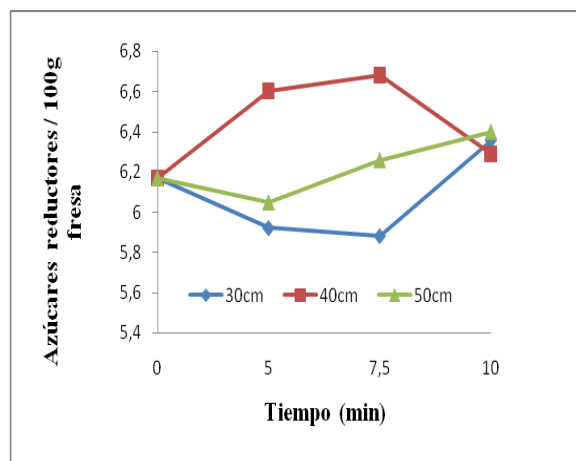
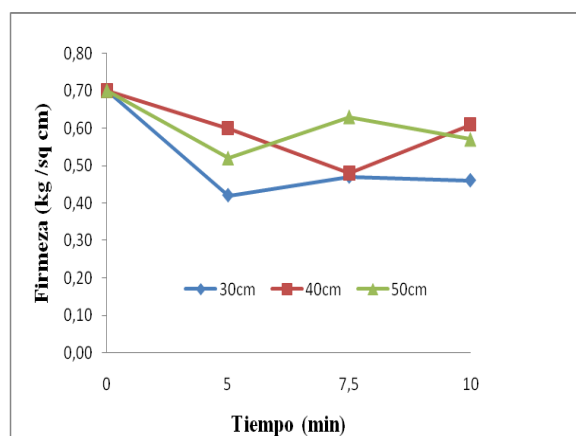
*FST= fresas sin tratamiento UV-C

3.2.4. Azúcares Reductores. En la Tabla 3 se expresan los valores de azúcares reductores por 100g de fresa, dichos valores fueron tomados de las frutas tratadas con radiación UV-C. El análisis de varianza indica que no existe influencia en sus valores, tanto en la distancia de la fruta a las lámparas como en su tiempo de exposición a la radiación. Los valores están entre 5,8 a 8,4 de promedio de azúcares reductores.

Tabla 4. Características de calidad de las fresas en los dos mejores tratamientos

Tratamientos	a ₀ b ₁	a ₁ b ₁
Infeción fúngica	0,33 _(a)	0,37 _(a)
Bacterias	750 _(b)	198 _(a)
Hongos y levaduras	557 _(a)	245 _(a)
Coliformes	87 _(a)	55 _(a)
Vitamina C	44,08 _(a)	43,41 _(a)
Sólidos solubles	8,94 _(a)	9,3 _(a)
Acidez	0,91 _(a)	0,99 _(a)
Firmeza	0,47 _(b)	0,48 _(a)
Humedad	90,97 _(a)	93,8 _(b)
pH	3,75 _(a)	3,81 _(a)
Antocianinas	0,0291 _(a)	0,0308 _(a)
Azúcares reductores	5,88 _(a)	6,68 _(a)
a ₀ b ₁ (30 cm; 7,5 min)		a ₁ b ₁ (40 cm; 7,5 min)

Las letras diferentes dentro de la fila, significan diferencia significativa (Tukey $\alpha < 0,05$).

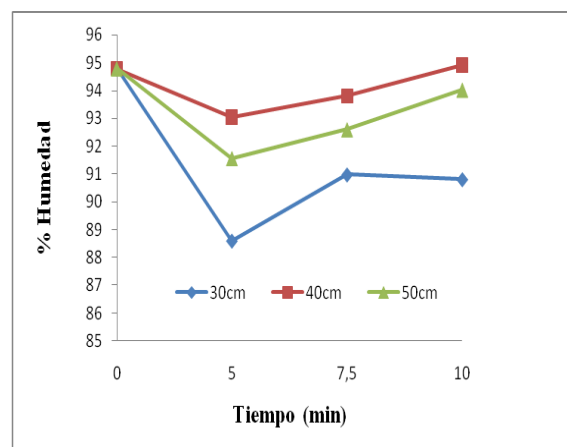
**Figura 7.** Azúcares reductores en las fresas tratadas con UV-C**Figura 8.** Firmeza en fresas tratadas con UV-C

3.2.5. Firmeza. En la Tabla 3, se presentan los datos de los valores de firmeza (kg/cm^2) realizado con un penetrómetro y presentado gráficamente en la Figura

8; en las cuales se muestra que las fresas de los tratamientos con UV-C han disminuido la firmeza en comparación con las fresas frescas, que tienen $0,70$ (kg/cm^2) de resistencia a la penetración; mientras que los valores obtenidos de las fresas tratadas van de $0,42$ a $0,63$ (kg/cm^2).

El análisis de varianza indica que existe diferencia significativa ($\alpha=0,05$) en el factor A (distancias), pero no así para el factor B (tiempos), ni para el efecto combinado AXB. En el a₁b₁, las fresas presentan $0,48$ (kg/cm^2) de penetrabilidad, es decir que se vuelve más blanda en un 31% con relación a las fresas no tratadas. La prueba de Tukey nos indica que las distancias de las lámparas ubicadas a 50 y 40 cm a la fruta no tienen diferencias significativas, pero sí al comparar estas distancias con la de 30 cm.

La disminución de la firmeza puede verse afectada ya que los componentes de la membrana (fosfolípidos y glicolípidos) como de la pared celular (proteínas y ligninas) absorben energía en el rango ultravioleta generando especies reactivas de oxígeno que causan estrés oxidativo que afectan la estabilidad de la pared y membrana celular [6].

**Figura 9.** Porcentaje de humedad en Fresas tratadas con UV-C

3.2.6. Humedad. El agua es el componente más abundante de los frutos, encontrándose en niveles comprendidos entre 89 y 94% [9]. Los frutos son altamente sensibles a la deshidratación, lo que se recomienda realizar el almacenamiento postcosecha de la fresa a 90-95% de humedad relativa. En la Tabla 3 y Figura 9 se reportan los valores de porcentaje de humedad de las fresas sometidas a tratamientos con luz UV-C. En ellas se puede observar que la radiación ejerce una disminución de la humedad. El análisis de varianza nos indica que existe diferencia significativa para el efecto A (distancia) y no así para el efecto B (tiempo), ni para el efecto combinado AXB. La prueba de Tukey para la distancia, nos da que las distancias de 40 y 50 cm. Tienen la misma influencia en la humedad de la fruta, existiendo diferencia significativa ($\alpha=0,05$) con la distancia de 30 cm.

3.3. Selección del mejor tratamiento

En la Tabla 4, se compara los dos mejores tratamientos con relación a los parámetros de calidad de las fresas, de estos dos resulta como mejor, el tratamiento a_1b_1 , perteneciente a una distancia de 40 cm y un tiempo de 7,5 minutos de exposición de la fruta a la radiación; a esta distancia presenta menor contenido de bacterias; que le hace a la fruta más higiénica y adecuada para el consumo, y un valor más alto de firmeza, al comparar con el tratamiento a_0b_1 (30 cm-7,5 min). Los demás parámetros como infección fúngica, contenido de hongos y levaduras, coliformes, vitamina C, sólidos solubles, acidez, pH, antocianinas y azúcares reductores tienen valores similares entre estos dos tratamientos.

3.4. Vida útil en fresas tratadas con luz UV-C tomando en cuenta el mejor tratamiento

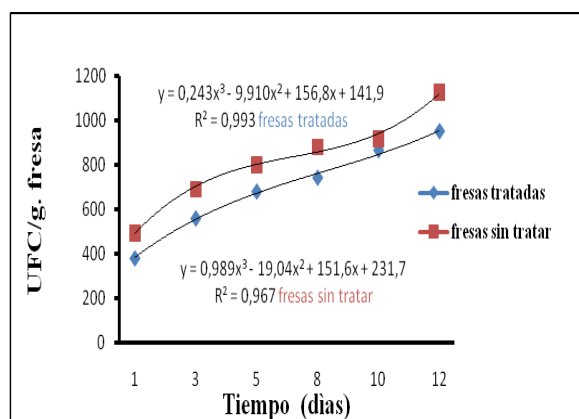


Figura 10. Recuento de mohos y levaduras en la vida útil de fresas tratadas con luz UV-C

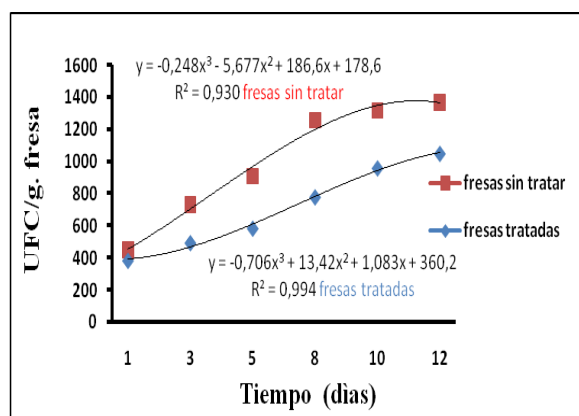


Figura 11. Recuento total de mesofilos en la vida útil de fresas tratadas con luz UV-C

Para cumplir el objetivo de conocer la vida útil de las fresas tratadas a una distancia de 40 cm de las lámparas de UV-C y por el tiempo de 7,5 minutos; se las envasaron y almacenaron en refrigeración a 5°C. A su vez se comparó a las fresas sin tratamiento, envasada y almacenada en las mismas condiciones. Se realizó recuento de microorganismos cada 48 horas,

para determinar el contenido de bacterias, mohos y levaduras durante dos semanas. Las curvas de crecimiento microbiano en la fruta se puede observar en la figura 10 correspondiente a mohos y levaduras y en la figura 11 para el caso de bacterias; las fresas comienzan a cambiar de aspecto físico después de los 10 días en fresas tratadas y después de 8 días en fresas sin tratamiento. Durante los 10 días en fresas tratadas y 8 en las no tratadas, las frutas mantienen sus características físicas de calidad, pero mientras transcurren los días se observaron síntomas de deshidratación, ablandamiento, y el apareamiento de manchas oscuras, sobre todo inicia el crecimiento exponencial de microorganismos, lo cual no es recomendable ya que en ese estado la fruta no es apta para el consumo. Las curvas de crecimiento de microorganismos en las fresas observados en los gráficos, se adaptan a ecuaciones polinomiales de grado 3, característico del crecimiento de microorganismos.

4. Conclusiones

Por medio del presente estudio se comprobó que los tratamientos con radiación UV-C provocan un mejoramiento en la calidad de la fresa, en consecuencia se lo puede utilizar como alternativa para prolongar el tiempo de vida útil de las mismas. Lo mencionado resulta de mucho interés para los productores de fresa, ya que con una baja inversión se conseguiría comercializar frutas de excelente calidad, con atributos sensoriales agradables y parámetros microbiológicos inofensivos para el consumidor. Los tratamientos con luz UV-C influyen directamente sobre los parámetros de calidad e higiene, disminuyendo la cantidad microbiana y mejorando las características sensoriales de la fruta.

Al utilizar la radiación UV-C como medio de destrucción de microorganismos en fresas (*Fragaria vesca*) variedad diamante contribuye en la reducción de la carga microbiana influenciado por el tiempo de exposición, distancia de las lámparas UV-C con respecto a las fresas, dándonos como resultado características microbiológicas, físico-químicas y sensoriales aceptables. Por tanto, se determinó que el mejor tratamiento es el a_1b_1 (40cm-7,5min).

5. Agradecimientos

Un sincero agradecimiento a la Universidad Técnica de Ambato y al Centro de Investigaciones CENI por el financiamiento del presente proyecto. A la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y a la Unidad Operativa de Investigaciones en Tecnología de Alimentos UOITA por las facilidades brindadas a las diferentes actividades de investigación.

6. Referencias

- [1] Fernandez, M. 2000. Review: Active food packaging. *Food Science and Technology International*, 6 (2): 79-108.
- [2] Almenar, E., 2005, "Envasado activo de fresas silvestres", Universidad de Valencia, Tesis Doctoral, Artes Gráficas, España.
- [3] Rivera, M., 2007. Aplicación de la ingeniería de matrices en la fortificación de luz UV-C en mango. Universidad Autónoma de Perú. 96 pp.
- [4] Barka, E, y Kalantari., 2000. "Effects of UV-C irradiation on lipid peroxidation markers during repinig of tomato; *Plant Physiol.* 27:147-79.
- [5] Mercier, J., 1993. Effet of UV-C on phytoalexin accumulation and resistance to *Botrytis cinerea* in stored carrots. *J. Phytopathol.* 139:17-35.
- [6] Erkan M, y Wang, D T. 2001 UV-C irradiation reduces microbial population and deterioration in Cucurbita pepo fruit tissue. *Env. Exp. Bot.* 45.
- [7] Fonseca J M, J W Rushing. 2006. Effect of ultraviolet-C light on quality of fresh-cut watermelon. *Postharv. Biol. Technol.* 40:256-261.
- [8] Official Methods of Analysis of AOAC International, CD ROOM, 17 th Edition, Current Trough Revision # 1, 2002.
- [9] Ariel, R., 2004, "Efecto de tratamientos térmicos de alta temperatura sobre la calidad y fisiología postcosecha de frutillas (*Fragaria x ananassa*) " Universidad Nacional de la Plata, Facultad de Ciencias Exactas. Departamento de Química. Tesis Doctoral. Argentina
- [10] Alvarado, J., de Dios. 1996, "Principios de Ingeniería Aplicados a Alimentos", Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, Universidad Técnica de Ambato, Ecuador. Pág., 156, 157.