

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO ORREGO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**



EFFECTO DE LA DOSIS DE IRRADIACIÓN UV-C Y TIEMPO DE ALMACENAMIENTO A 1 °C SOBRE LAS CARACTERISTICAS FISICOQUIMICAS, RECuento DE MOHOS Y LEVADURAS Y ACEPTABILIDAD GENERAL DE ARÁNDANOS (*Vaccinium corymbosum* L.) cv. Biloxi

**TESIS para optar el título de:
INGENIERA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

CYNTHIA GABRIELA MENDOZA ALVÁN

TRUJILLO – PERÚ
2014

La presente tesis ha sido aprobada por el siguiente jurado:

Ing. Dr. Antonio Rodríguez Zevallos
PRESIDENTE

Ing. Ms. Gabriela Barraza Jáuregui
SECRETARIO

Ing. Ms. Elena Urraca Vergara
VOCAL

Ing. Ms. Luis Márquez Villacorta
ASESOR

DEDICATORIA

A mis padres Fernando y Luz Irene, a mi hermana Luciana, a quienes amo y agradezco infinitamente por su apoyo y comprensión invaluable que me han brindado en este largo caminar.

AGRADECIMIENTO

Agradezco al Ms. Luis Márquez Villacorta, por haberme permitido trabajar en esta investigación y guiarme con sus conocimientos en el desarrollo de la presente tesis.

A los miembros del jurado Dr. Antonio Rodríguez Zevallos, Ms. Gabriela Barraza Jáuregui y Ms. Elena Urraca Vergara, por los conocimientos impartidos durante la carrera profesional.

INDICE

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
I. INTRODUCCIÓN.....	VII
II. REVISION BIBLIOGRÁFICA	5
2.1. Arándano	5
2.1.1. Generalidades del fruto.....	5
2.1.2. Variedades.....	7
2.1.3. Propiedades y aspectos nutricionales del fruto.....	10
2.1.4. Índice de madurez y cosecha de arándanos	11
2.1.5. Antioxidantes en arándanos	12
2.2. Situación del arándano en el mundo y en Perú	13
2.2.1. Situación del arándano en el mundo.....	13
2.2.2. Situación del arándano en Perú.....	13
2.3. Tratamientos a bajas temperaturas	15
2.4. Tratamientos con irradiación ultravioleta (UV)	16
2.4.1. Características de la irradiación ultravioleta	17
2.4.2. Efectos de la radiación UV-C sobre seres vivos	19
2.5. Ventajas de la aplicación de irradiación UV-C a nivel industrial ..	21
III. MATERIALES Y METODOS.....	23
3.1. Lugar, Materia Prima e Instrumentos.....	23
3.1.1. Lugar de ejecución.....	23
3.1.2. Materia prima e insumos.....	23
3.1.3. Equipos e instrumentos de laboratorio.....	23
3.2. Método experimental	24
3.2.1. Esquema experimental para la evaluación de arándanos frescos refrigerados con irradiación UV-C	24

3.2.2. Procedimiento experimental para el tratamiento UV-C y conservación de arándanos frescos refrigerados	26
3.2.3. Métodos de análisis	28
3.2.4. Métodos estadísticos	32
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	33
4.1. Efecto de la dosis de irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento sobre la pérdida de peso.	33
4.2. Efecto de la dosis de irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento sobre el contenido de solidos solubles.	37
4.3. Efecto de la dosis de irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento sobre la firmeza.	40
4.4. Efecto de la dosis de irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento sobre la acidez titulable.	43
4.5. Efecto de la dosis de irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento sobre el color.	46
4.6. Efecto de la dosis de irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento sobre el contenido de antocianinas totales.	50
4.7. Efecto de la dosis de irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento sobre el contenido de mohos y levaduras.....	55
4.8. Efecto de la dosis de irradiación UV-C, temperatura y tiempo de almacenamiento sobre la aceptabilidad general.	59
V. CONCLUSIONES	62
VI. RECOMENDACIONES.....	63
VII. BIBLIOGRAFIA.....	64
VIII. ANEXO	70

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación Taxonómica del Arándano	6
Cuadro 2. Variedades comerciales de Arándanos.....	8
Cuadro 3. Composición nutricional del arándano	11
Cuadro 4. Superficie de arándanos en Perú en 2012.....	14
Cuadro 5. Condiciones de almacenamiento del arándano	16
Cuadro 6. Regiones del espectro UV y longitud de onda	17
Cuadro 7. Prueba de Levene modificada para la pérdida de peso de bayas de arándano irradiadas con luz UV-C	35
Cuadro 8. Análisis de varianza de la pérdida de peso en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C.....	35
Cuadro 9. Prueba de Duncan para la pérdida de peso de bayas de arándanos irradiadas con luz UV-C.	36
Cuadro 10. Prueba de Levene modificada para el contenido de sólidos solubles en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C.	38
Cuadro 11. Análisis de varianza del contenido de sólidos solubles en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C.	39
Cuadro 12. Prueba de Duncan para el contenido de sólidos solubles en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C.	39
Cuadro 13. Prueba de Levene modificada para la firmeza en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C.....	42
Cuadro 14. Análisis de varianza de la firmeza en bayas de arándanos irradiadas con luz UV-C.....	42
Cuadro 15. Prueba de Duncan para la prueba de firmeza en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C.....	43
Cuadro 16. Prueba de Levene modificada para la acidez titulable en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C.	45
Cuadro 17. Análisis de varianza de la acidez titulable en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C.....	45

Cuadro 18. Prueba de Duncan para la acidez titulable en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C.....	46
Cuadro 19. Prueba de Levene modificada para el valor de luminosidad L* en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C.	49
Cuadro 20. Análisis de varianza del valor de luminosidad L* en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C.....	49
Cuadro 21. Prueba de Duncan para el valor de luminosidad L* en bayas de arándanos irradiadas con luz UV-C.....	50
Cuadro 22. Prueba de Levene modificada para el valor de antocianinas totales en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C.....	53
Cuadro 23. Análisis de varianza del valor de antocianinas totales en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C.....	54
Cuadro 24. Prueba de Duncan para el contenido de antocianinas totales en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C.	55
Cuadro 25. Prueba de Levene modificada para el contenido de mohos y levaduras en bayas de arándanos irradiadas con luz UV-C.	58
Cuadro 26. Análisis de varianza para el recuento de mohos y levaduras en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C.	58
Cuadro 27. Prueba de Duncan para el recuento de mohos y levaduras en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C.	59
Cuadro 28. Prueba de Friedman para la aceptabilidad general en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C.....	61

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Frutos de Arándano "Blueberry" (<i>Vaccinium corymbosum</i> L.)....	7
Figura 2. Esquema experimental para la evaluación de arándanos frescos refrigerados con irradiación UV-C.....	25
Figura 3. Diagrama de flujo para la obtención de arándanos frescos refrigerados tratados con irradiación UV-C.....	26
Figura 4. Tarjeta de evaluación sensorial para la prueba de aceptabilidad general de bayas de arándanos tratados con irradiación UV-C en refrigeración.....	31
Figura 5. Pérdida de peso en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C en función de los días de almacenamiento.....	33
Figura 6. Contenido de sólidos solubles en bayas de arándanos con luz UV-C en función de los días de almacenamiento.....	37
Figura 7. Valores de firmeza en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C en función de los días de almacenamiento.....	40
Figura 8. Acidez titulable en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C en función de los días de almacenamiento.....	44
Figura 9. Valores de luminosidad L* en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C en función de los día de almacenamiento.....	47
Figura 10. Contenido de antocianinas totales en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C en función de los días de almacenamiento.....	51
Figura 11. Mohos y levaduras en bayas de arándanos irradiadas con luz UV-C en función de los días de almacenamiento.....	56
Figura 12. Aceptabilidad general en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C en función de los días de almacenamiento.....	60

INDICE DE ANEXOS

Anexo A. Pérdida de peso (%) en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C durante el almacenamiento.....	70
Anexo B. Contenido de sólidos solubles (°Brix) en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C durante el almacenamiento.....	71
Anexo C. Acidez titulable (%) en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C durante el almacenamiento.....	72
Anexo D. Valor de luminosidad L* en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C durante el almacenamiento.	73
Anexo E. Evaluación de la firmeza (N) en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C durante el almacenamiento.	74
Anexo F. Contenido de antocianinas totales en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C durante el almacenamiento.....	75
Anexo G. Recuento de mohos y levaduras (ufc/g) en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C durante el almacenamiento.....	76
Anexo H. Resultados de evaluación sensorial de bayas de arándano irradiadas con luz UV-C durante el almacenamiento al día 0..	77
Anexo I. Resultados de evaluación sensorial de bayas de arándano irradiadas con luz UV-C durante el almacenamiento al día 7. ..	78
Anexo J. Resultados de evaluación sensorial de bayas de arándano irradiadas con luz UV-C durante el almacenamiento al día 14.	79
Anexo K. Resultados de evaluación sensorial de bayas de arándano irradiadas con luz UV-C durante el almacenamiento al día 21.	80
Anexo L. Resultados de evaluación sensorial de bayas de arándano irradiadas con luz UV-C durante el almacenamiento al día 30.	81
Anexo M. Proceso de elaboración de bayas de arándano irradiadas con luz UV-C.	82
Anexo N. Tratamiento de D1, D2 y D3 al final del almacenamiento.	83

RESUMEN

Se evaluó el efecto de la dosis de irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento a 1 °C sobre las características fisicoquímicas, recuento de mohos y levaduras, y aceptabilidad general de bayas de arándano. Frutos de arándano fueron cosechados en la Provincia de Virú – La Libertad, inmediatamente se trasladaron hasta la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Privada Antenor Orrego, donde se seleccionaron, clasificaron, pesaron y dividieron en tres grupo, colocados en bandejas “clamshells” con tapa ventilada, luego irradiados a las dosis de 2 y 4 kJ/m², considerándose una muestra control y se almacenaron a 1 °C por 30 días. Cada 7 días fueron evaluadas las variables dependientes. El análisis de varianza denotó el efecto significativo de las dosis de irradiación y tiempo de almacenamiento sobre la pérdida de peso, sólidos solubles, firmeza, acidez titulable, color, contenido de antocianinas totales y recuento de mohos y levaduras. La prueba de Duncan permitió determinar que la muestra con 4 kJ/m² presentó la menor pérdida de peso, contenido de sólidos solubles y recuento de mohos y levaduras; así mismo, la mayor firmeza, acidez titulable, luminosidad y contenido de antocianinas totales al final del almacenamiento. En la aceptabilidad general luego de aplicar la prueba de Friedman no se evidenció efecto significativo de la dosis de irradiación y tiempo de almacenamiento. La muestra con 4 kJ/m² fue la de mayor aceptación, presentando un rango promedio de 2.12 para el día 30 de almacenamiento.

ABSTRACT

The effect of the UV-C irradiation dose and storage time at 1 °C on the physicochemical characteristics, yeasts and molds counts and general acceptance of blueberries. Blueberry fruits were harvested in the province of Viru – La Libertad, immediately moved to the Professional School of Food Engineering at the Antenor Orrego Private University. The fruits were selected, weighed and divided into three groups, placed in trays with “clamshells” ventilated lids, then irradiated at doses of 2 and 4 kJ/m², considering a control sample and stored at 1 °C for 30 days. Every 7 days the dependent variables were evaluated. The variance analysis showed significant effect of the irradiation dose and storage time on the weight loss, soluble solids, firmness, titratable acidity, color, total anthocyanins and yeast and mold counts. Duncan test determined that the sample with 4 kJ/m² had the lowest weight loss, soluble solids content and yeast and mold counts; likewise, the greatest firmness, titratable acidity, brightness and total anthocyanins at the end of the storage. The sample with 4 kJ/m² had the lowest count of molds and yeasts at the end of storage. After applying the Friedman test, general acceptability showed no significant effect of the irradiation dose and storage time. The 4 kJ/m² sample was the most accepted. Presenting an average range of 2.12 for the day 30 for storage.

I. INTRODUCCIÓN

Las frutas y hortalizas mínimamente procesadas en fresco (IV Gama), constituyen un sector de rápido crecimiento en la industria de los alimentos. Una vez que los productos se procesan, se envasan en bolsas selladas o en bandejas cubiertas con películas plásticas, luego son almacenadas y transportadas bajo refrigeración. Las modificaciones de calidad y pérdidas postcosecha de frutas y hortalizas son causadas principalmente por la presencia de superficies cortadas y tejidos vegetales dañados, deterioro por microorganismos y almacenamiento inadecuado, es decir, por debajo de la temperatura crítica. Las reacciones de degradación que se producen afectan a cualidades sensoriales tales como el color, firmeza, aroma, sabor, así como, el valor nutricional (Andrade-Cuvi y otros, 2010; González-Aguilar y otros, 2005).

Las antocianinas son el grupo más importante de pigmentos solubles visibles al ojo humano presentes en frutos, pétalos de flores y hojas de plantas. Pertenecen al grupo de los flavonoides, metabolitos secundarios de los vegetales. Los flavonoides presentan actividad antioxidante ya que son excelentes donadores de electrones o hidrógeno con la formación de radicales intermedios relativamente estables. Las antocianinas, que le confieren el color azul a frutos como el arándano, intervienen en el metabolismo celular humano disminuyendo la acción de los radicales libres, asociados al envejecimiento, cáncer, enfermedades cardíacas y Alzheimer. La identificación y cuantificación de estos compuestos serviría de base para nuevos estudios y su posterior aplicación en la industria alimenticia (Coria y otros, 2008; Scheihing, 2005).

Estos pigmentos que son poco estables, pueden degradarse en el tejido fresco, en el procesado o almacenamiento; entre los factores más importantes que afectan la estabilidad de las antocianinas están: las enzimas, la temperatura, el tiempo de proceso y almacenamiento, el

oxígeno, pH, el ácido ascórbico, y otros. En los frutos, las antocianinas (glicósidos) se localizan principalmente en la cáscara, y en menor medida en la pulpa (Scheihing, 2005). Estos compuestos, además de tener buenas propiedades antioxidantes, tienen también otros efectos beneficiosos, tales como antidiabético, antibacteriano y actividades anticancerígenas (Routray y Orsat, 2011).

Los arándanos llamados “Blueberries”, son frutos de la familia de los berries, que posee atractivas características y propiedades nutricionales, por representar una importante fuente de antioxidante y vitaminas, entre otras. Sus beneficios sobre la salud son lo que principalmente han generado un aumento en su demanda durante los últimos años en los mercados internacionales, convirtiéndolo en un producto muy atractivo para la industria frutícola de exportación. El arándano poco a poco ha ido pasando de ser un producto de nicho o de consumo de lujo, a un producto de consumo más masivo, con mayores oportunidades de mercado (Scheihing, 2005; Reporte Decofrut, 2013).

El alto carácter perecedero de las frutas y hortalizas, aunado al mal manejo postcosecha y uso de tecnologías de acondicionamiento y almacenamiento inadecuadas, se traduce en elevadas pérdidas de calidad durante su comercialización y distribución en los mercados. En general, los tratamientos térmicos favorecen el control de los microorganismos, pero causan cambios en la calidad visual y sensorial del producto con pérdidas de color, firmeza y algunos compuestos bioactivos (fenoles, flavonoides, fitolexinas y otros) (Rivera y otros, 2007).

A pesar de los riesgos, las frutillas y berries no son lavadas antes de salir al mercado, debido al efecto negativo en la calidad y reducción en la vida postcosecha, con el incremento de brotes asociados a frutos secos, se ha hecho necesario evaluar tecnologías como la irradiación UV-C que no destruyan o comprometan la integridad del producto. La luz UV-C (254

nm) es un alternativa estudiada en frutos como fresa, durazno, manzana, mandarina, fresa y frambuesa entre otros, y se aplica para aumentar la vida útil del arándano, y disminuir la incidencia de microorganismo patógenos (Sandoval, 2013).

La irradiación UV-C se ha estudiado como un tratamiento alternativo a la esterilización química para la conservación de frutas y hortalizas, porque reduce el crecimiento de microorganismos en superficies inertes y en frutos prolongando la vida útil de los productos. 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 mecanismo de defensa tales como modificaciones de la pared celular, enzimas de defensa y aumento en la actividad antioxidante, esto último ha sido relacionado con posibles beneficios a la salud de los consumidores. 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. Como tratamiento postcosecha, la irradiación UV-C proporciona beneficios como reducir la velocidad de respiración, controlar de la descomposición y retrasar la madurez y senescencia de frutas y hortalizas (Rivera y otros, 2007; González y otros, 2006; Alegría y otros, 2012).

El problema planteado para esta investigación fue:

¿Cuál es el efecto de la dosis de irradiación UV-C (0, 2 y 4 kJ/m²) y tiempo de almacenamiento a 1 °C (7, 14, 21, 30 días) sobre las características fisicoquímicas (pérdida de peso, sólidos solubles, firmeza, acidez titulable, color y contenido de antocianinas totales), recuento de mohos y levaduras y aceptabilidad general de arándanos (*Vaccinium corymbosum* L.) cv. Biloxi?

Los objetivos propuestos para esta investigación son los siguientes:

- Evaluar el efecto de la dosis de irradiación UV-C, y tiempo de almacenamiento a 1 °C sobre las características fisicoquímicas, recuento de mohos y levaduras y aceptabilidad general de arándanos.
- Determinar la dosis de irradiación UV-C que permita obtener menor pérdida de peso, contenido de sólidos solubles y recuento de mohos y levaduras, mayor firmeza, acidez titulable, color, contenido de antocianinas totales, y mayor aceptabilidad general de arándanos durante 30 días de almacenamiento a 1 °C.

II. REVISION BIBLIOGRÁFICA

2.1. Arándano

2.1.1. Generalidades del fruto

El arándano o “blueberry” es un frutal menor perteneciente al género *Vaccinium*, de la familia *Ericaceae*. Es nativo de Norteamérica y fue introducido en Chile a principios de la década de los ochenta (Vilches, 2005).

Se trata de un arbusto pequeño de 0.2-0.4 m de altura, cuyo nombre científico es *Vaccinium corymbosum*. El fruto del arándano, conforma el grupo de las frutas denominadas comercialmente en el ámbito internacional como berries, entre las que además se encuentran la frutilla, frambuesa (roja, negra, púrpura y amarilla), grosella, mora, baby kiwi, cranberry, etc. El fruto del arándano es una baya casi esférica de 7 a 15 mm. De color azul claro a oscuro; que contiene pequeñas semillas y presenta un sabor agridulce muy característico (ADEX, 2009).

El fruto es una baya esférica que debe cumplir con ciertos atributos de calidad como: color de azul claro a negro azulado, epidermis provista de secreción cerosa llamada “pruina”, calibre mínimo de 0.7 a 1.5 cm y una adecuada firmeza, además de presentar una cicatriz pequeña y seca después de desprender el pedúnculo al cosechar. La producción que no cumple con estos parámetros de calidad se destina generalmente a la obtención de zumo clarificado concentrado, por lo que se hace necesario buscar alternativas tecnológicas que permitan dar un mayor valor añadido a este excedente (Stückrath y Petzold, 2007).

Existen distintas especies de arándanos. La mayor extensión cubierta por este frutal corresponde al arándano de arbusto bajo, que crece de forma silvestre en regiones de Norteamérica, de donde es originario, ocupando

zonas frías y con suelos ácidos. En el Cuadro 1 se describe la clasificación taxonómica del arándano (Castillo, 2008).

Cuadro 1. Clasificación Taxonómica del Arándano

Clasificación Taxonómica	
Reino	Vegetal
Orden	Ericales
Familia	Ericáceas
Subgénero	Cyanococcus
Género	Vaccinium
Especies	5 grupos

Fuente: Castillo (2008).

Desde un punto de vista botánico, podemos decir que este arbusto se caracteriza por:

- Tener un sistema radicular de aspecto fibroso y superficial. En condiciones naturales, sus raíces están asociadas con hongos micorrizas específicos, con los cuales mantiene una relación de mutuo beneficio (simbiótica). Entre las raíces y la parte aérea se encuentra la corona, que tiene la capacidad de emitir brotes. La altura alcanzada por esta planta oscila entre los 0.5 hasta los 2.5 m, dependiendo de la variedad (Lowbush o Highbush). El arándano ojo de conejo alcanzaría valores más altos, pero se controla mediante podas (Castillo, 2008).
- Las hojas son simples, de forma ovalada a lanceolada y caducas, adquiriendo una tonalidad rojiza en el otoño. A diferencia de otros frutales, las yemas vegetativas y las fructíferas se encuentran claramente separadas (Castillo, 2008).
- Las flores poseen una corola blanca o rosada, y se reúnen en racimos (Castillo, 2008).

- Su fruto es una baya casi esférica, puede variar en tamaño de 0.7 a 1.5 cm de diámetro dependiendo de la especie. La epidermis del fruto está cubierta por secreciones cerosas. El fruto del arándano es de color azul, de ahí la denominación de "blueberry", en inglés (Castillo, 2008).



Figura 1. Frutos de Arándano "Blueberry" (*Vaccinium corymbosum* L.)

También es conocido como "myrtille" en francés, "mirtillo" en italiano y "heidelbeere" en alemán (Castillo, 2008).

2.1.2. Variedades

El género *Vaccinium* está compuesto por más de 30 especies, pero solo un pequeño grupo tiene importancia comercial. Algunas especies que pertenecen a este grupo son "arándano alto" (*Vaccinium corymbosum* L.), "arándano ojo de conejo" (*Vaccinium virgatum* Ait., ex *V. ashei* Reade), "arándano bajo" (*Vaccinium angustifolium* Ait.), "arándano europeo" (*Vaccinium myrtillus* L.) y "arándana" (*Vaccinium macrocarpon*) (Pino, 2007).

Los arándanos cultivados se diferencian básicamente en su comportamiento con respecto al frío, la necesidad de horas frío (H.F.) para levantar su latencia invernal, su resistencia a las bajas temperaturas tanto a las heladas invernales (en climas fríos) como a las primaverales

(en zonas tardías o cálidas). Las variedades comerciales son el resultado de programas de mejoras. Todos los arándanos pueden ubicarse en las categorías descritas en el Cuadro 2 (Castillo, 2008).

Cuadro 2. Variedades comerciales de Arándanos

Categorías		
Especies	Nombre Común	Requerimiento Frío
<i>V. Corymbosum</i> L.	Arándanos Altos del Norte (Highbush)	800-1000 H.F.
<i>V. Corymbosum</i> L. y <i>V. darrowi</i>	Arándanos Altos del Sur	200-400 H.F. (a veces 600 H.F.)
<i>V. angustifolium</i> y <i>V. myrtilloides</i>	Arándanos Bajos	Requerimiento menos en H.F.
<i>V. vigratum</i> y <i>Vashei Reade</i>	Arándanos Ojo de Conejo (Rabbiteye)	400-800 H.F.
<i>V. Corymbosum</i> L. y <i>V. Angustifolium</i>	Arándanos Medios-Altos	Requerimiento menores de frío

Fuente: Castillo (2008).

El “arándano alto” fue la primera especie que se introdujo al cultivo, y ha sido sometida a sucesivos procesos de selección por lo cual existen, actualmente, más de 50 variedades mejoradas, generadas principalmente en Estados Unidos (Pino, 2007). Dentro de especie de “arándano alto” existen variedades con diferentes requerimiento de temperaturas: Northern highbush (temperaturas bajas) y Southern highbush (temperaturas altas) (Jara, 2012).

- Arándano alto (Northern highbush blueberry): es la especie que produce la fruta de mejor calidad en cuanto a tamaño y sabor, debido a que fue sometido a un largo proceso de mejoramiento genético en su país de origen. Se desarrolla bien en regiones frías, con inviernos largos (Castillo, 2008). Aquí se encuentran los cultivares tradicionales:

-tempranas: Duke, Sunrise, Bluechip, Spartan.

-media estación: Bluejay, Bluecrop, Sierra, Nelson, Darrow, Blueray, Patriot.

-tardías: Brighitta, Elliot.

- Arándano alto de bajo requerimiento de frío (Southern highbush blueberry): son variedades resultantes de cruzamientos entre la especie anterior y especies nativas de zonas más cálidas. Tienen buena calidad de fruta y maduración temprana. Pueden alcanzar precios elevados en los mercados. En este grupo se incluyen cultivares como: O'Neal, Blueridge, Cape Fear, Sharpblue, Avonblue, Georgiagem, Cooper y Gulf Coast. La principal característica de estas variedades es el bajo requerimiento de frío invernal, lográndose producciones muy tempranas y tardías en zonas como Florida, Carolina del Norte, y California (Castillo, 2008; Zamorano, 2005).

En cuanto a los cultivares de “arándano alto”, hay que distinguir entre los que tienen un alto requerimiento de frío invernal (más de mil horas) como Bluecrop, Blueray y Elliot y aquellos que poseen un bajo requerimiento de horas de frío, que son generalmente de maduración temprana. Dentro de estos últimos destaca el cultivar O'Neal (Castillo, 2008).

El “arándano ojo de conejo” es una especie que ha obtenido popularidad debido a que tolera suelos con pH más altos, posee mayor resistencia a la sequía, produce mayor cantidad de fruta, tiene mejor duración en postcosecha, pero presenta una menor calidad sensorial del fruto en relación con el “arándano alto” (Pino, 2007). Se adapta a regiones más cálidas que el arándano alto, tiene una mayor rusticidad, es más tolerante a la sequía y permite su cultivo en un rango más amplio de suelos (Castillo, 2008).

El “arándano bajo” se encuentra principalmente en estado silvestre. Presenta una alta capacidad para emitir brotes vegetativos que le permiten formar extensas colonias. Tiene importancia porque ha contribuido al mejoramiento genético para la selección de clones mejorados de “arándano alto”. Además, dado que estas colonias producen una gran cantidad de fruta que es comercializada, también tiene importancia económica en países como Canadá y Estados Unidos (Pino, 2007).

2.1.3. Propiedades y aspectos nutricionales del fruto

Las propiedades nutricionales y nutraceuticas del arándano son constantemente investigadas y promovidas. Su consumo ha sido recomendado para todo tipo de personas, destacando su bajo aporte calórico, su contenido de fibra, su elevado aporte de potasio y por ser buena fuente de Vitamina A y C (Pino, 2007).

El valor nutricional del arándano, según la estandarización de la Food and Drug Administration (FDA) de los Estados Unidos, lo resume como un alimento entre bajo y libre de grasas y sodio, libre de colesterol y rico en fibras y vitamina C. El consumo de esta fruta en porciones de alrededor de 142 g (5 onzas), aporta a la dieta alimenticia diaria lo que se expone en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Composición nutricional del arándano

Nutriente	Valor por 100 g
Agua (g)	87.4
Proteínas (g)	0.3
Fibras (g)	1.7
Calorías (kcal)	42
Vitaminas	
Vitamina A (UI)	30
Vitamina B ₁ (mg)	0.014
Vitamina B ₂ (mg)	0.0024
Vitamina B ₆ (mg)	0.012
Vitamina C (mg)	12
Ácido nicotínico (mg)	0.2
Minerales	
Sodio (mg)	2
Potasio (mg)	72
Calcio (mg)	14
Magnesio (mg)	6
Manganeso (mg)	0.5
Hierro (mg)	0.5
Fósforo (mg)	10

Fuente: ADEX (2009).

2.1.4. Índice de madurez y cosecha de arándanos

El arándano presenta una curva de producción que alcanza su plenitud a partir del séptimo año de cultivo, utilizando material vegetal de 2 años de edad en el momento de su plantación. Hasta los 5 años, el arándano llega a un 60% de su producción. Una vez que el cultivo alcanza su capacidad de máxima producción, se mantiene prácticamente constante hasta unos

años antes del final de su vida productiva, que puede ser de los 20 a 30 años (Castillo, 2008).

El fruto de arándano alcanza su madurez 60 a 80 días después de la floración dependiendo del cultivar y de la temperatura del lugar. Se originan 5 a 10 bayas en cada racimo los cuales maduran progresivamente durante varias semanas (Pino, 2007). La cosecha se realiza selectivamente sobre la base del tamaño e índice de madurez de la fruta (Colima, 2010).

Por lo general la cosecha de arándanos se basa en el color de la superficie de la fruta que debe ser 100% azul en su recubrimiento, sin embargo, se pueden utilizar como indicadores el nivel de sólidos solubles y la acidez titulable. La cosecha debe comenzarse tan temprano como se pueda después que la humedad condensada en la superficie de los frutos haya desaparecido. La fruta en estado maduro presenta una serosidad (pruina) que no debería ser removida, lo que implica cierto cuidado en la recolección (Pino, 2007; Hoffmann y De Souza, 2003; Colima, 2010).

2.1.5. Antioxidantes en arándanos

El arándano se cultiva en todos los continentes, siendo su centro de producción los Estados Unidos y Canadá. El 60% de la producción se destina a la industria, en la elaboración de dulces, pasteles, helados y yogures; sin embargo, año tras año se descubren nuevos usos. En particular se ha puesto especial atención a los estudios sobre arándanos y su comportamiento durante el almacenamiento que muestran una relación positiva entre la actividad antioxidante y el contenido de antocianinas (Coria y otros, 2008).

Las antocianinas, que le confieren el color azul al fruto, intervienen en el metabolismo celular humano disminuyendo la acción de los radicales libres, asociados al envejecimiento, cáncer, enfermedades cardíacas y Alzheimer. La identificación y cuantificación de estos compuestos serviría

de base para nuevos estudios y su posterior aplicación en la industria alimenticia (Coria y otros, 2008).

2.2. Situación del arándano en el mundo y en Perú

2.2.1. Situación del arándano en el mundo

El nivel de producción mundial de arándanos ha ido incrementando desde el año 2000. Con un incremento de 37.82% durante el periodo 2000-2008. Cabe recalcar que el crecimiento fue más significativo durante el periodo 2007-2008, con un incremento de 18.63%, a pesar de que el país afrontó un fuerte nivel de recesión en todos los sectores de la economía estadounidense (Oficina Comercial Perú, 2011).

De acuerdo a información hecha disponible por el USDA y la FAO, podemos comprobar que los EEUU ocupan el primer lugar de producción en el mundo. En el año 2008, los EEUU produjeron 199 000 mil t de arándanos, un incremento de 20.47% en comparación al año anterior seguidos por Canadá que produjo 94 000 t (con un incremento de 22.16%) (Oficina Comercial Perú, 2011).

Estados Unidos como principal productor, consumidor, exportador e importador de arándanos del mundo, constituye un mercado de más de 262 millones de consumidores y se estima que su demanda anual es cercana a 250 000 t (Pino, 2007).

2.2.2. Situación del arándano en Perú

En Perú, lo cierto es que hoy sólo existen unas 200 ha sembradas, la mayoría de ellas ubicadas en zonas de Costa. En el futuro próximo asoman distintos proyectos que sumarían otras 700 ha aproximadamente. Pese a que todavía es limitada la superficie disponible, se espera que la oferta peruana de arándano vaya aumentando paulatinamente en los principales mercados de destino, gracias a que es considerado un negocio muy rentable, con precios de venta y rentabilidad más alto que la

uva y palta. Además, debe considerarse que el arándano peruano podría ingresar a los mercados de exportación en los momentos de mayor escasez, desde septiembre hasta mediados de noviembre, lo que suma a las ventajas competitivas con que cuenta para la producción de arándanos (Red Agrícola, 2013; Decofrut, 2013).

En aquellas nuevas superficies hay proyectos que van desde 1 a las 50 ha, sembradas en suelo o en bolsa. Los de mayor tamaño están en manos de grandes compañías como Camposol y Grupo Rocío, referido en el Cuadro 4. Camposol manejaría hoy 50 ha y tiene planes para sembrar en 2013 otras 100 ha. El otro gran proyecto del país lo maneja el Grupo Rocío y que involucraría 500 ha, de las cuales ya tienen sembradas 50 ha (Red Agrícola, 2013).

Cuadro 4. Superficie de arándanos en Perú en 2012

Productor	Localidad	Superficie (ha)
Fundo La Losada	Arequipa	Sin información
Frutícola La Joyita	Arequipa	14 ha
Blueberries Perú	Cañete	Vivero
Inka Berries	Lima	Sin información
Arándanos Perú	Huaral	Vivero
Iberagro	Ancash	Sin información
Agrícola Athos	Caraz	10 ha
Camposol	La Libertad	50 ha *
Talsa	La Libertad	50 ha **
Valle y Pampa	Pisco	6 ha
Pichupampa	Sierra de Lima	1 ha
Frutícola Paiján	Trujillo	Sin información
Antonio Tipismana	Mala	4 ha
José Luis Dibos	Mala	4 ha

**Cuadro 4. Superficie de arándanos en Perú en 2012
(continuación)**

Intipa Foods	Caraz	30 ha
Arequipa Berries		2 ha
In Vitro Berries	Trujillo	Vivero
Berries Cajamarca	Cajamarca	4 ha
Finca Tradiciones	Cajamarca	22 ha

*En 2013 se sumarán 100 ha

**El proyecto total es de 500 ha

Fuente: Red Agrícola (2013).

2.3. Tratamientos a bajas temperaturas

Una de las medidas normalmente usadas para controlar la actividad enzimática de productos frescos es el uso de bajas temperaturas durante el manejo, procesamiento y almacenamiento de frutas y hortalizas. A temperaturas bajas, no sólo es reducida la actividad enzimática responsable del pardeamiento, de manera que se conserve la calidad del producto, sino que, además las velocidades metabólicas descienden significativamente, ambas disminuciones contribuyen a incrementar la vida útil del producto (Pérez, 2003).

Cuando se separan de la planta, las frutas, hortalizas y flores son aún tejidos vivos que respiran. El mantenerlos a la temperatura más baja posible (0 °C o 32 °F para los cultivos de climas templados o 10 a 12 °C o 50 a 54 °F para los cultivos sensibles al daño por frío) aumentará su vida de almacenamiento por la disminución de la velocidad de respiración, por su sensibilidad más baja al gas etileno y por la menor pérdida de agua que sufren. Reduciendo la tasa de pérdida de agua se disminuye también la velocidad de marchitamiento y resecamiento, que es una causa seria de pérdidas postcosecha (Pelayo y otros, 2002).

Después de cosechado el arándano, la fruta debe ser enfriada lo más rápido posible por lo que debe ir a cámara fría ya sea en el propio huerto o ser enviada rápidamente una vez logrado un volumen importante, a la planta de selección. Las condiciones de almacenamiento se resumen en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Condiciones de almacenamiento del arándano

Método de enfriamiento	Aire forzado
Temperatura óptima	0.5 – 1.0 °C
Temperatura congelación	-2.2 °C
Humedad Relativa óptima	90-95%
Tiempo de almacenaje	2-3 semanas

Fuente: Hoffmann y De Souza (2003).

El enfriamiento rápido de arándanos inmediatamente después de la cosecha es importante para conservar la calidad y ampliar su vida útil en el mercado. La fruta normalmente contiene una cantidad significativa de calor que debe ser eliminado mediante enfriamiento por aire forzado. Si el fruto permanece en el campo durante un periodo de tiempo prolongado, se debe evitar que el fruto cosechado este expuesto a la radiación solar. Es recomendable cubrir el fruto con lonas reflectantes, para beneficiar el mantenimiento de la calidad de la fruta, lo cual es evidente después del tiempo de almacenamiento. La temperatura de almacenamiento óptima para los arándanos es de 0 °C, lo que debería obtenerse poco después de la cosecha (Fourney, 2009).

2.4. Tratamientos con irradiación ultravioleta (UV)

El alto carácter perecedero de las frutas y hortalizas, aunado al mal manejo de postcosecha y uso de tecnologías de acondicionamiento y almacenamiento inadecuadas, se traduce en elevadas pérdidas de la calidad durante su comercialización y distribución en los mercados (Rivera y otros, 2007).

Los distintos métodos de conservación de alimentos procuran incrementar la vida útil de los productos durante su almacenamiento, idealmente, aplicando técnicas que impidan alteraciones microbiológicas y mantengan la calidad del producto. Hace años se investigan los efectos de la luz sobre bacterias y otros organismos, lo que comenzó a partir del concepto del daño celular causado por la incidencia de la radiación solar sobre organismos vivos. La irradiación ultravioleta es una tecnología alternativa a la esterilización química utilizada para reducir el crecimiento de microorganismos en alimentos (Domínguez, 2011; Gonzales, 2006).

2.4.1. Características de la irradiación ultravioleta

La irradiación ultravioleta (UV) es conocida por su efecto germicida y su aplicación en esterilización, y ha sido adoptada especialmente en áreas en las que la contaminación microbiológica tiene gran importancia (Cote, 2011). Así mismo, la aplicación de irradiaciones a frutas y hortalizas se emplea para la desinfestación de insectos y control de enfermedades, así como, para retardar la maduración, el crecimiento y la germinación, como en el caso de los tubérculos. Varios autores han encontrado que además del control microbiológico, la irradiación reduce significativamente la tasa de respiración y la producción de etileno (Pérez, 2003).

La zona dentro del espectro electromagnético correspondiente a la irradiación ultravioleta comprende longitudes de onda desde 400 nm, extremo violeta del espectro visible, hasta los 100 nm y puede a su vez subdividirse en tres zonas como se indica en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Regiones del espectro UV y longitud de onda

Radiación	Longitud de onda
UV-A	315 – 400 nm
UV-B	280 – 315 nm
UV-C	100 – 280 nm

Fuente: Cote (2011).

La irradiación UV-C tiene su máximo pico de emisión a 280 nm, pero los estudios han comprobado que a 254 nm de longitud de onda es donde presenta su mayor acción germicida, por lo que ha sido ampliamente estudiada en varios tejidos vegetales (Rivera y otros, 2007).

En función de la intensidad y longitud de onda, la irradiación UV-C puede inducir un estrés biológico en plantas y activar algunos mecanismos de defensa de los tejidos vegetales, con la consecuente producción de fitoalexinas. La acumulación de estos compuestos podría estar acompañada por otros sistemas de defensa inducidos, tales como modificación de las paredes celulares, síntesis de enzimas de defensa, aumento en la actividad antioxidante, esto último ha sido relacionado con posibles beneficios a la salud de los consumidores (González y otros, 2006; Rivera y otros, 2007; Domínguez, 2011).

Por las ventajas que presenta este tipo de irradiación se ha considerado como un tratamiento alternativo para preservar la calidad de frutas y hortalizas. El tiempo de aplicación de irradiación UV-C oscila entre 1 y 5 minutos, periodo que no incrementa significativamente la temperatura del tejido (1-3 °C), ni produce alteraciones o favorece los procesos deteriorativos del producto. Una ventaja es que no deja residuos y no afecta las características sensoriales (sabor y aroma) del producto. Pero la sensibilidad de los tejidos al tratamiento con UV-C difiere en función del genotipo, y en ocasiones las dosis altas pueden favorecer la oxidación de compuestos bioactivos del fruto, como vitamina C, carotenos y fenoles, así como, el oscurecimiento superficial del tejido (Rivera y otros, 2007).

La irradiación UV-C puede afectar los procesos fisiológicos a nivel genético. En perejil, UV-B regula los genes que codifican la ruta biosintética de flavonoides, tales como la sintasa de chalcona y fenilalanina amonio liasa (PAL), que también son enzimas clave en la formación de antocianinas. En la fresa, la aplicación de irradiación UV-C

de 0.25 o 1 kJ/m² reduce la tasa de respiración en un 70% durante los primeros 2 días de almacenamiento, con respecto a la fruta control. El tratamiento de tomates con irradiación UV-C aumentó la firmeza de la fruta y la disminución de la degradación celular pared, principalmente disminuyendo la actividad de las enzimas que degradan la pared celular. Tratamientos con UV-C mostraron una mayor activación de los genes de 1,3-Glucanasa, quitinasa y PAL (Perkins-Veazie y otros, 2008).

2.4.2. Efectos de la irradiación UV-C sobre seres vivos

Efecto germicida

El efecto germicida de la irradiación UV-C es conocido por largo tiempo. Los seres vivos reaccionan de diferente forma a la irradiación ultravioleta, algunos resisten dosis mayores que otros. Los organismos eucariotas son en general más resistentes que los procariontes. Los hongos, por ejemplo, resisten una dosis de irradiación superior a la requerida para conseguir el mismo porcentaje de destrucción en bacterias. Así mismo, para un organismo dado existen marcadas diferencias; por ejemplo, las formas de resistencia como las esporas son menos sensibles a la irradiación UV-C que los respectivos micelios (Cote, 2011).

La irradiación UV-C produce cambios fotoquímicos, cuyos efectos pueden variar según la especie de microorganismo que se trate. El mecanismo de acción letal depende de su absorción por el ADN, pudiendo detener el crecimiento celular y provocar la muerte. La irradiación absorbida por los nucleótidos produce cambios físicos de electrones, formando uniones cruzadas entre tiamina y citosina, (nucleótidos de bases pirimidínicas) pertenecientes a la misma cadena, lo que provoca la formación de dímeros ciclobutil pirimidina (Domínguez, 2011).

Efecto sobre los frutos

Si bien la irradiación UV-C se utilizó originariamente en la desinfección de agua o de superficies, varios grupos de investigación han comenzado a evaluar la posibilidad de extender su uso para los tratamientos directos en los alimentos (Cote, 2011). Al aplicar irradiación UV-C en frutas y vegetales, adicionalmente a la reducción de la carga microbiana inicial en la superficie, se produce un fenómeno denominado “efecto hormético”. Dicho efecto puede mejorar la resistencia al ataque de ciertos microorganismos tales como mohos y levaduras, dado que puede estimular la producción de fenilalanina amonio liasa (PAL), que induce la formación de compuestos fenólicos (fitoalexinas), tóxicos para ellos (Domínguez, 2011).

Efecto hormético de la irradiación UV-C

La hormesis es una respuesta adaptativa con características diferenciadas por la relación dosis-respuesta, que es inducida por un proceso de acción directa o de sobre-estimulación a dosis bajas. Al aplicar irradiación UV-C en frutas y hortalizas, adicionalmente a la reducción de la carga microbiana inicial en la superficie, se produce un fenómeno denominado “efecto hormético” (Rivera y otros, 2007).

La acumulación de fitoalexinas, tales como escopoletina y escoparona, se ha comprobado en cítricos tratados con UV-C. Otras manifestaciones que podrían también contribuir a reducir la susceptibilidad al ataque de patógenos en frutos irradiados incluyen la acumulación de enzimas relacionadas, en forma directa o indirecta, con mecanismos defensivos tales como fenilalanina amonio-liasa (PAL), peroxidasa, polifenoloxidasas, quitinasa y β -1,3-D glucanasa (Cote, 2011).

De igual forma se ha observado 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 luz UV-C (González, 2006).

Algunos trabajos sugieren que la manipulación del metabolismo de los productos mediante tratamientos con UV-C podría redundar en una menor pérdida, o incluso en el incremento, de la actividad antioxidante con el consiguiente beneficio nutricional. En uva, los tratamientos postcosecha con irradiación UV-C permitieron incrementar marcadamente los niveles de resveratrol. Esta inducción de componentes con capacidad antiradical ha sido descrita también en otros frutos como arándano variedad "Bluecrop", donde además de reducir el ataque de patógenos, la exposición a irradiación UV-C incrementó la actividad antioxidante total de los frutos (Cote, 2011). En otro estudio, se aplicó dosis de 1 – 5 kJ/m² a frutos frescos de arándano azul donde se observó que el comportamiento en el contenido de fenoles, capacidad antioxidante y antocianinas aumentaron en al menos uno de los días de almacenamiento (Sandoval, 2013).

2.5. Ventajas de la aplicación de irradiación UV-C a nivel industrial

Los tratamientos de irradiación de UV-C presentan numerosas ventajas ya que son procesos relativamente cortos, se aplican en seco, requieren menos infraestructura que otros métodos, y son económicos debido a que la inversión de capital es generalmente baja al igual que el costo de mantenimiento. En general no hay restricciones legales para su aplicación y los efectos sobre la calidad de los frutos son claros, por lo que constituye una excelente alternativa para extender la vida postcosecha de frutas y vegetales. A pesar de esto, existen muy pocos casos

documentados del uso de tratamiento de UV en productos frutihortícolas a nivel industrial (Cote, 2011).

La mayoría de los estudios hasta la fecha en los cuales se evalúa el uso de irradiación UV-C en frutas y hortalizas se han focalizado en seleccionar una dosis de irradiación apropiada para cada uno de los frutos y a partir de esto determinar su efecto sobre el comportamiento de los mismos en el almacenamiento (Cote, 2011).

La dosis de los tratamientos se expresa en unidades de energía por unidad de área y surge del producto del tiempo de tratamiento por la intensidad o fluencia de irradiación, determinada por la potencia de irradiación del equipo por unidad de área (Domínguez, 2011):

$$D = I \times t \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

D = Dosis del tratamiento expresada por ejemplo en (kJ/m^2)

I = Intensidad fluencia de radiación expresada por ejemplo en (kW/m^2)

t = Tiempo de tratamiento expresado en segundos.

También suele expresarse en $\text{mJ}/\text{cm}^2 = \mu\text{W s}/\text{cm}^2$.

La exposición a intensidades de irradiación UV-C, se asocia con la expresión de genes involucrados en la protección al daño y adaptación al exceso de irradiación. Del mismo modo, los efectos de inactivación de ciertas enzimas que se han descrito por acción de los tratamientos UV podrían estar afectados por la intensidad de la irradiación recibida. En función de lo antedicho resulta de interés evaluar la influencia que podría tener el aumento de la intensidad de irradiación sobre la eficacia de los tratamientos UV-C en frutos (Cote, 2011).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Lugar, Materia Prima e Instrumentos

3.1.1. Lugar de ejecución

Las pruebas experimentales y los análisis se realizaron en el Laboratorio de Tecnología de Alimentos de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Privada Antenor Orrego.

3.1.2. Materia prima e insumos

Materia prima

- Arándanos frescos cv. Biloxi proporcionados por la empresa Tal S.A., provenientes del fundo Armonía ubicado en el km 497 de la Panamericana Norte.
- Bandejas tipo “clamshell” de 125 g proporcionadas por la empresa Tal S.A.

Insumos

- Hidróxido de sodio NaOH 0.1N
- Agua destilada

3.1.3. Equipos e instrumentos de laboratorio

- Balanza Analítica. Marca METTLER TOLEDO. Capacidad 0 – 210 g, sensibilidad aprox. 0.0001 mg.
- Refractómetro. Marca THOMAS SCIENTIFIC, rango: 0-32 °Brix, +/- 0,2%, calibrado a 20 °C.
- Refrigeradora. Marca Bosch. Modelo Frost 44. Rango 0 a 8 °C. Precisión + 2 °C.
- Colorímetro Minolta. Modelo CR – 400.
- Texturómetro Instron modelo 3342.
- Termómetro digital. Marca Multidigital. Rango de 50 a 200 °C. Precisión + 0.01 °C.

- pH-metro. Marca METTLER TOLEDO. Rango de 0-14, sensibilidad aprox. 0.01.
- Equipo de radiación pulsada de rayos ultravioleta de onda corta. Diseño propio. Cuatro lámparas Philips, modelo TUV G30T8, 30 Watts). Dimensiones de la cámara de vidrio: 121 cm largo x 26.8 cm ancho x 91 cm alto. Espesor: 1 cm.
- Radiómetro digital marca Cole-Parmer modelo UVP (rango 0-20 mW/cm²).
- Vasos de precipitación
- Cucharas de acero inoxidable
- Cuchillo
- Tablas de picar

3.2. Método experimental

3.2.1. Esquema experimental para la evaluación de arándanos frescos refrigerados con irradiación UV-C

La Figura 2 muestra el esquema experimental para la experimentación y evaluación de arándanos frescos refrigerados con irradiación UV-C. Las variables independientes son la dosis de irradiación y tiempo de almacenamiento (a 1°C); y como variables dependientes las características fisicoquímicas (pérdida de peso, sólidos solubles, firmeza, acidez titulable, color y contenido de antocianinas totales), recuento de mohos y levaduras, y la aceptabilidad general.

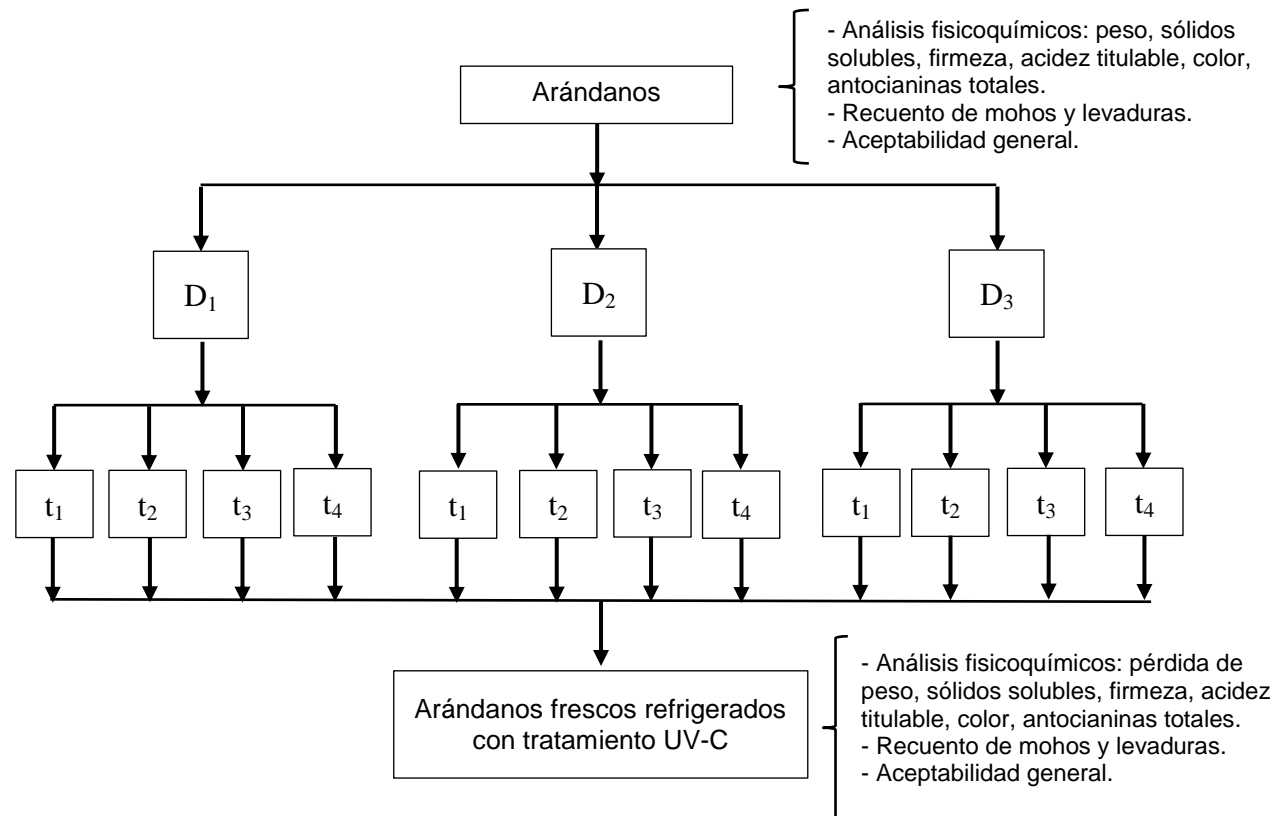


Figura 2. Esquema experimental para la evaluación de arándanos frescos refrigerados con irradiación UV-C

Leyenda:

- D₁: Dosis irradiación UV-C de 0 kJ/m².
- D₂: Dosis irradiación UV-C de 2 kJ/m².
- D₃: Dosis irradiación UV-C de 4 kJ/m².
- t₁: Tiempo de almacenamiento de 7 días.
- t₂: Tiempo de almacenamiento de 14 días.
- t₃: Tiempo de almacenamiento de 21 días.
- t₄: Tiempo de almacenamiento de 30 días.

3.2.2. Procedimiento experimental para el tratamiento UV-C y conservación de arándanos frescos refrigerados

En la Figura 3 se presenta el diagrama de flujo para la obtención de arándanos frescos refrigerados tratados con irradiación UV-C.

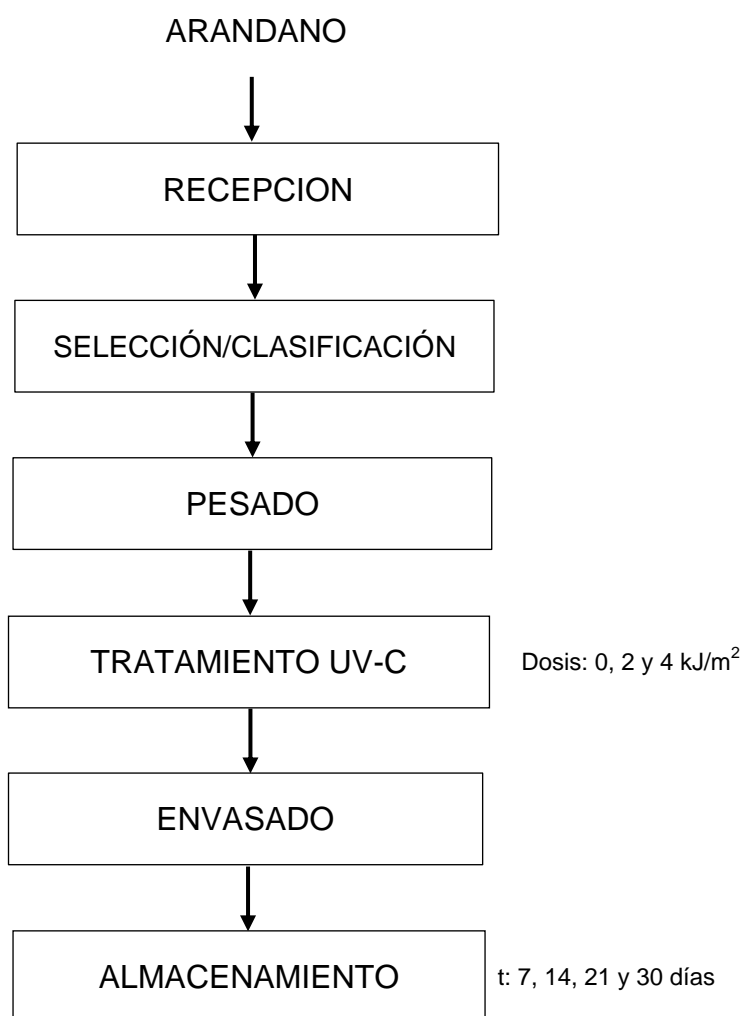


Figura 3. Diagrama de flujo para la obtención de arándanos frescos refrigerados tratados con irradiación UV-C.

Descripción del diagrama de flujo

A continuación se describe el proceso para irradiación UV-C y conservación de arándanos frescos refrigerados.

Recepción: Las bayas fueron recepcionadas en bandejas plásticas wenco de material PEAD Virgem, especial para frutos pequeños con capacidad de 2 kg. El arándano fue recibido en planta teniendo cuidado de no proporcionarle daño físico o mecánico (Godoy, 2004).

Selección y clasificación: El arándano fue seleccionado manualmente para eliminar aquellas bayas con presencia de daños físicos e infección por hongos. Posteriormente las bayas se clasificaron basadas en sus atributos de calidad (tamaño y color), se consideraron bayas de tamaño de 13-15 mm de diámetro y de color azul intenso en 90-100% del fruto (Godoy, 2004).

Pesado: Se pesó aproximadamente 125 g de fruto para cada tratamiento registrando el valor previo a su almacenamiento en refrigeración (Godoy, 2004).

Tratamiento UV-C: Para la aplicación de los tratamientos con irradiación UV-C se utilizó un banco de 04 lámparas germicidas UV-C de 254 nm (lámparas Philips, modelo TUV G30T8, 30 watts). Los arándanos se colocaron a una distancia de 12.5 cm de las lámparas a diferentes tiempos de exposición que permitieron obtener las diferentes dosis de aplicación, mediante la fórmula 1 (Domínguez, 2011):

$$D = \frac{I * t}{1000} \dots\dots\dots (1)$$

D: dosis de irradiación aplicada (kJ/m²)

I: intensidad de irradiación bajo el área de emisión de luz UV-C (W/m²)

t: tiempo de exposición (s)

Envasado: El envasado de los arándanos se realizó en bandejas tipo “clamshell” de material PET (tereftalato de polietileno) con una capacidad de 125 g, utilizadas especialmente para exportación (Godoy, 2004).

Almacenamiento: El almacenamiento de los arándanos se realizó a una temperatura de 1 °C (90-95 %HR) para ser evaluados periódicamente (7, 14, 21 y 30 días) en sus características fisicoquímicas (pérdida de peso, sólidos solubles, firmeza, acidez titulable, color, contenido de antocianinas totales, recuento de mohos y levaduras y aceptabilidad general (Godoy, 2004). La humedad relativa se monitoreó haciendo uso del higrómetro con una frecuencia diaria.

3.2.3. Métodos de análisis

3.2.3.1 Pérdida de peso

Se determinó periódicamente pesando los envases antes y después de cada periodo de almacenamiento. Los resultados fueron expresados como porcentaje de pérdida de peso respecto al peso inicial (Godoy, 2004).

3.2.3.2 Sólidos solubles

Los sólidos solubles se determinaron utilizando un refractómetro de mano (0-32 % sólidos solubles), calibrado a 20 °C, mediante la aplicación de 1 mL del jugo extraído en el equipo y realizada la lectura (Godoy, 2004).

3.2.3.3 Firmeza

Se determinó de manera instrumental reportándose un promedio de 5 valores por cada tratamiento, utilizando un texturómetro Instron modelo 3342. Los parámetros del ensayo fueron tomados de (Zapata, 2010) con algunas modificaciones:

- Modo: Medida de fuerza en compresión.
- Opción: Retorno al inicio.
- Diámetro de punzón: 2mm.

- Velocidad de Pre-Test: 1.0 mm/s
- Velocidad de Test: 1.0 mm/s
- Velocidad de Post-Test: 10.0 mm/s

3.2.3.4 Acidez titulable

Se determinó utilizando el método potenciométrico por tratarse de un fruto de coloración oscura. Las bayas de arándano se trituraron para extraer el jugo y se determinó el volumen de NaOH 0.1N consumido por 5 mL de jugo filtrado y homogeneizado hasta llegar a un valor de pH 8.2. La acidez titulable se expresó en porcentaje (%) de ácido cítrico (Godoy, 2004).

3.2.3.5 Color

Se utilizó el sistema CIELAB, usando el colorímetro Kónica-Minolta, modelo CR-400. El equipo se calentó durante 10 min y calibrado con un blanco estándar. Luego se determinó el valor de luminosidad (L^*) ($L^*=0$ para negro y $L^*=100$ para blanco), reportándose el promedio de 10 valores (Pérez, 2003; Nunes y otros, 2004).

3.2.3.6 Determinación del contenido de antocianinas totales

Según lo indicado por Kuskoski y otros (2005), el cual se describe a continuación.

Método por diferencia de pH

La extracción de las antocianinas se realizó colocando 10 mL de muestra en 40 mL de etanol grado alimentario al 80% acidificado con HCl 0.1 M (pH 2), bajo agitación magnética en sombra durante 2 h. Los extractos fueron centrifugados a 4200 rpm por 15 min y separados los sobrenadantes.

Se utilizaron dos sistemas tampón: ácido clorhídrico/cloruro de potasio de pH 1.0 (0.025 M) y ácido acético/acetato sódico de pH 4.5 (0.4 M). A 0.2 mL de una muestra diluida (para conseguir una absorbancia en el rango

de 0.1-1.2 a 510 nm), se añadieron 1.8 mL de la correspondiente solución tampón y se midió la absorbancia en un Espectrofotómetro frente a un blanco a 510 y 700 nm. Se calculó la absorbancia final a partir de:

$$A = (A_{510 \text{ nm}} - A_{700 \text{ nm}})_{\text{pH } 1.0} - (A_{510 \text{ nm}} - A_{700 \text{ nm}})_{\text{pH } 4.5}$$

La concentración de pigmentos monoméricos en el extracto se expresó en cianidina 3-glucósido.

$$\text{Antocianinas monoméricas (mg/100 g)} = \frac{A \times \text{PM} \times \text{FD} \times 100}{\epsilon \times l}$$

Donde:

A: absorbancia

PM: peso molecular

FD: Factor de dilución

ϵ : absortividad molar

La concentración final de antocianinas (mg/100 g muestra fresca) se calculó en base al volumen de extracto y peso de muestra. Se expresó en cianidina 3-glucósido (PM: 449.2 y ϵ : 26900).

3.2.3.7 Recuento de mohos y levaduras

Se separó asépticamente 10 g de muestra que se homogenizó en 90 mL de agua peptonada al 0.1%. Una serie de diluciones se prepararon en 9 mL de agua peptonada con 1 mL de alícuota. La numeración de mohos y levaduras se realizó en Agar DRBC- Agar Dicloro Rosa Bengala + Cloranfenicol luego de una incubación a 21 °C por 5 días. Los resultados se reportaron en ufc/g (BAM, 2001; Norma ISO, 7954).

3.2.3.8 Evaluación sensorial

Las muestras de arándanos se sometieron a un análisis sensorial para evaluar la aceptabilidad general usando una escala hedónica estructurada

de 9 puntos, donde 9: me gusta muchísimo, 8: me gusta mucho, 7: me gusta bastante, 6: me gusta ligeramente, 5: ni me gusta ni me disgusta, 4: me disgusta ligeramente, 3: me disgusta bastante, 2: me disgusta mucho y 1: me disgusta muchísimo. Se trabajó con 30 panelistas no entrenados, consumidores de arándanos o frutos tipo berries y representantes del público objetivo, a los cuales se les realizó una inducción describiendo las características de sabor propio del arándano (Anzaldúa-Morales, 2005).

Nombre: _____	Fecha: _____
Producto: Arándanos Frescos	
Pruebe las muestras de arándanos frescos que se le presentan e indique, según la escala, su opinión sobre ellas.	
Marque con un aspa (X) en el renglón que corresponda a la percepción de aceptabilidad de la muestra.	
ESCALA	MUESTRAS
	125 367 947
Me gusta muchísimo
Me gusta mucho
Me gusta bastante
Me gusta ligeramente
Ni me gusta ni me disgusta
Me disgusta ligeramente
Me disgusta bastante
Me disgusta mucho
Me disgusta muchísimo
Comentarios: _____	

Figura 4. Tarjeta de evaluación sensorial para la prueba de aceptabilidad general de bayas de arándanos tratados con irradiación UV-C en refrigeración.

3.2.4. Métodos estadísticos

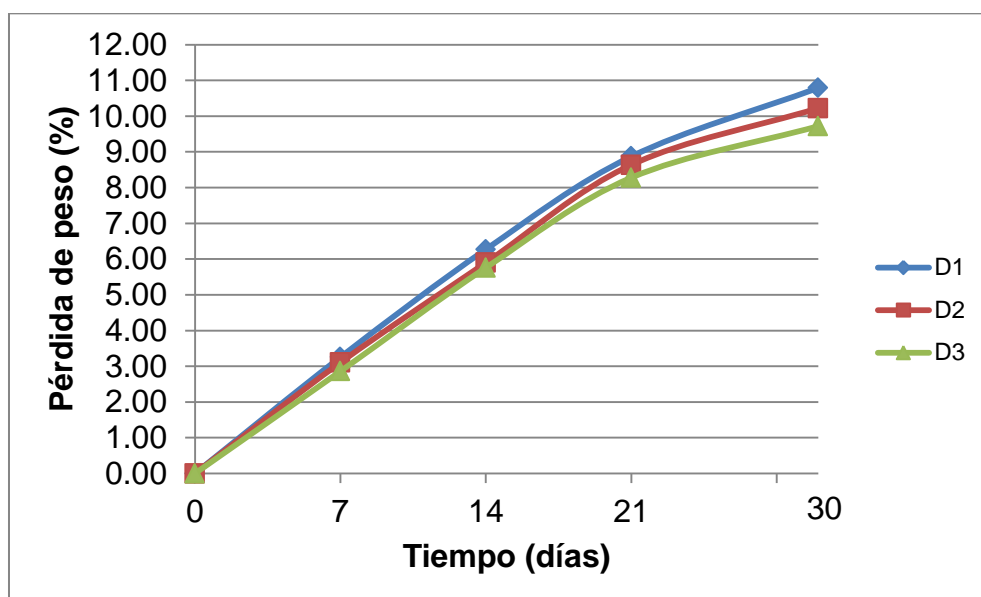
El diseño estadístico aplicado para la evaluación paramétrica de las características fisicoquímicas (pérdida de peso, sólidos solubles, acidez titulable y color) y recuento de mohos y levaduras corresponde a un arreglo factorial 3*4, con 3 repeticiones, para lo cual se utilizó un análisis de varianza. Así mismo, se aplicó la Prueba de Levene modificada (en función a la mediana) para evaluar homogeneidad de varianzas, finalmente la Prueba de comparaciones múltiples de Duncan, todas con un nivel de confianza del 95%.

Los datos obtenidos en la evaluación de la aceptabilidad general de los arándanos fueron evaluados mediante las pruebas no paramétricas de Friedman y Wilcoxon, ambas con un nivel de confianza del 95%. Se utilizó el Software IBM SPSS Statistics versión 19, 2010.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Efecto de la dosis de irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento sobre la pérdida de peso.

Se puede observar que el porcentaje de pérdida de peso fue incrementado en las bayas de arándano de forma lineal hasta los 21 días de almacenamiento, disminuyendo la velocidad al final del almacenamiento (Figura 5).



D₁: Bayas de arándano con dosis irradiación UV-C de 0 kJ/m².
 D₂: Bayas de arándano con dosis irradiación UV-C de 2 kJ/m².
 D₃: Bayas de arándano con dosis irradiación UV-C de 4 kJ/m².

Figura 5. Pérdida de peso en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C en función de los días de almacenamiento.

Las bayas de arándano irradiadas con luz UV-C almacenadas a 1 °C durante 30 días de almacenamiento, presentaron 9.72% de pérdida de peso para las muestras tratadas a 4 kJ/m² (D₃) y 10.22% en las bayas tratadas a 2 kJ/m² (D₂). La muestra control 0 kJ/m² (D₁) denotó 10.79%. Los resultados de la pérdida de peso durante el almacenamiento se observan en el Anexo A.

El agua es el componente más abundante de los frutos, encontrándose en niveles comprendidos entre 89 y 94%. Los frutos son altamente sensibles a la deshidratación, y aquellos que presentan una elevada velocidad de respiración, producen pérdidas de agua que implican arrugamiento, disminución de peso y descenso de la calidad sensorial, afectando la textura y jugosidad del fruto (Beltrán, 2010).

La velocidad de transpiración depende de los factores biológicos de cada producto y de las condiciones ambientales en las que son mantenidos, constituye el proceso a través del cual el vapor de agua de los tejidos es transferido al aire que rodea al producto. Este representa uno de los factores de deterioro comúnmente manifestado durante la postcosecha, debido al elevado contenido de agua; generando en el fruto una apariencia poco atractiva y considerables pérdidas de peso, disminuyendo su calidad y valor comercial (Acuña, 2009).

El arándano como la fresa, es un fruto muy perecedero debido a la alta velocidad con que transcurren los procesos metabólicos vitales como lo demuestra su alta velocidad respiratoria. El rápido deterioro comercial del producto viene determinado tanto por el consumo de sus propias reservas nutritivas como por la pérdida de agua por transpiración (Beltrán, 2010).

Cote (2011) reportó que la pérdida de peso en fresa se incrementó durante el almacenamiento, alcanzando valores entre 7.5 - 10% al final del mismo. Luego de 3 días a 10 °C se detectó la misma pérdida de peso en los grupos control y tratados con irradiación UV-C a una intensidad de 3 W/m², pero los frutos tratados con la mayor intensidad de irradiación UV-C (33 W/m²) registraron una menor pérdida de peso. La menor pérdida de peso de los frutos tratados podría asociarse con un menor deterioro de los mismos como consecuencia de los tratamientos y con una mayor integridad de las barreras a la deshidratación.

Sandoval (2013) utilizó frutos enteros de arándano, que fueron sometidos a tratamientos con luz UV-C en dosis de 1, 3 y 5 kJ/m² y almacenados por 9 días a temperatura de 4 °C. Reporto que con la dosis de 1 kJ/m² registró la menor pérdida de peso de manera significativa (4.91%) a 4 °C de almacenamiento, seguido de la dosis 3 kJ/m² con una pérdida de peso (7.36 %), en comparación, de la muestra control (11.92%).

En el Cuadro 7, se muestra la Prueba de Levene Modificada aplicada a la pérdida de peso en bayas de arándano, donde se puede observar que existió homogeneidad de varianza ($p > 0.05$). Consecuentemente, se procedió a realizar el análisis de varianza y posteriormente la prueba de Duncan para determinar la tendencia hacia el mejor tratamiento.

Cuadro 7. Prueba de Levene modificada para la pérdida de peso de bayas de arándano irradiadas con luz UV-C.

Variable respuesta	Transformación	Estadístico de Levene Modificado	p
Pérdida de peso	Básica	0.836	0.628

En el Cuadro 8, se muestra el análisis de varianza para la pérdida de peso en las bayas de arándano irradiadas con luz UV-C, que indicó un efecto significativo a un nivel de confianza del 95% de la dosis de irradiación y tiempo de almacenamiento.

Cuadro 8. Análisis de varianza de la pérdida de peso en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C.

Variable	Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	p
Pérdida de peso	Dosis	1.992	2	0.996	6.564	0.004
	Tiempo	615.628	4	153.907	1014.057	0.000
	Dosis * Tiempo	0.927	8	0.116	0.764	0.637
	Error	4.553	30	0.152		
	Total	623.100	44			

Cote (2011) determinó efecto significativo a un nivel de confianza del 95%, de la dosis de irradiación y tiempo de almacenamiento (3 o 5 días) a 10 °C sobre la pérdida de peso en fresas.

En el Cuadro 9, se muestra los resultados de la prueba de Comparaciones Múltiples de Duncan donde se puede observar que existió diferencia significativa entre los tratamientos denotados por la formación de subconjuntos. En el subconjunto 5 se observa a los tratamientos 4 kJ/m² - 30 días de almacenamiento y 2 kJ/m² - 30 días de almacenamiento que presentaron menor pérdida de peso con 9.72% y 10.22%, respectivamente. Siendo estos tratamientos estadísticamente iguales.

Cuadro 9. Prueba de Duncan para la pérdida de peso de bayas de arándanos irradiadas con luz UV-C.

Tratamientos	Subconjunto					
	1	2	3	4	5	6
0kJ/m ² - 0 días	0.0000					
2kJ/m ² - 0 días	0.0000					
4kJ/m ² - 0 días	0.0000					
4kJ/m ² - 7 días		2.8600				
2kJ/m ² - 7 días		3.1033				
0kJ/m ² - 7 días		3.2567				
4kJ/m ² - 14 días			5.7567			
2kJ/m ² - 14 días			5.8967			
0kJ/m ² - 14 días			6.2733			
4kJ/m ² - 21 días				8.2733		
2kJ/m ² - 21 días				8.6367		
0kJ/m ² - 21 días				8.8700		
4kJ/m ² - 30 días					9.7200	
2kJ/m ² - 30 días					10.2233	10.2233
0kJ/m ² - 30 días						10.7867

4.2. Efecto de la dosis de irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento sobre el contenido de sólidos solubles.

En la Figura 6 se observa que el contenido de sólidos solubles en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C aumentó en todos los tratamientos durante todo el almacenamiento.

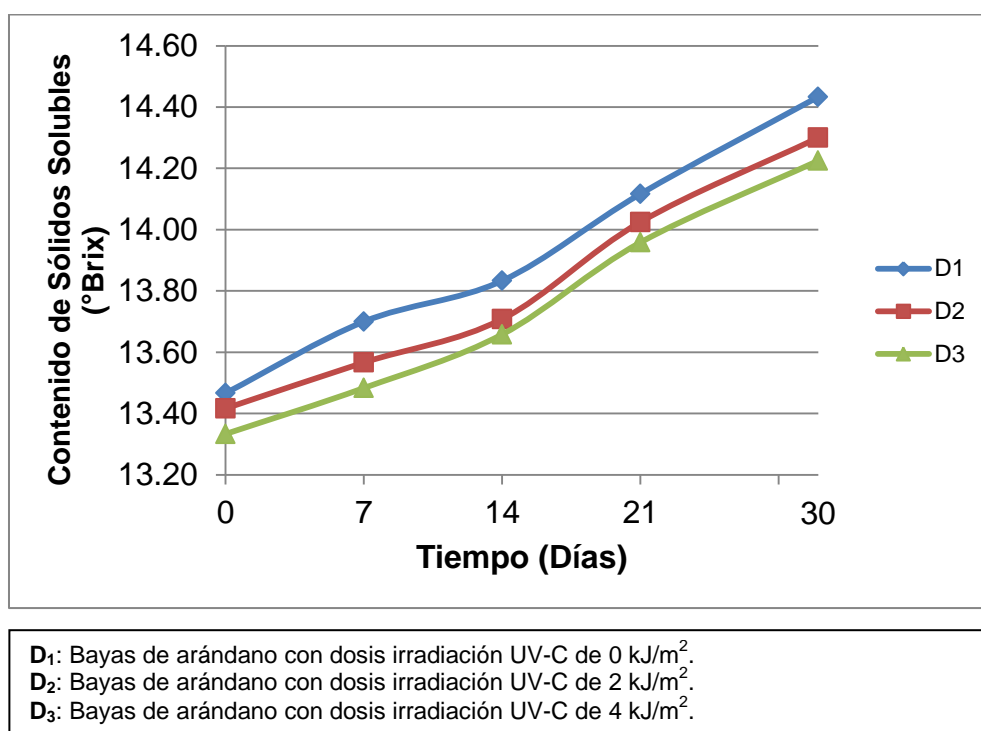


Figura 6. Contenido de sólidos solubles en bayas de arándanos con luz UV-C en función de los días de almacenamiento.

Las bayas de arándano a las que se aplicó una dosis de irradiación de 4 kJ/m² (D₃), presentaron el menor contenido de sólidos solubles a los 30 días de almacenamiento con 14.23 °Brix, seguido de las muestras con 2 kJ/m² con 14.30 °Brix. La muestra control (0 kJ/m²) presentó el mayor incremento con 14.43 °Brix, lo cual indica un avance en el proceso de maduración de las bayas, así mismo, la pérdida de peso de los frutos acorde al avance de los días de almacenamiento. Los resultados del contenido de sólidos solubles durante el almacenamiento se observan en el Anexo B.

Los sólidos solubles están relacionados con el sabor de los frutos y son un indicador del momento de la cosecha en arándano azul. El contenido de azúcar tiende a aumentar con la maduración de los frutos (Sandoval, 2013; Fourney, 2009).

Sandoval (2013) reportó un leve aumento en el contenido de sólidos solubles para frutos de arándano azul sometidos a dosis de luz UV-C (1, 3 y 5 kJ/m²) almacenados a 4 °C durante 9 días, para frutos con dosis de 1 kJ/m² se tuvo un valor de 13.20 °Brix, seguido de los frutos tratados a 3 kJ/m² con 12.10 °Brix, en comparación, con la muestra control que tuvo 14.58 °Brix.

En el Cuadro 10, se presenta la Prueba de Levene modificada para contenido de sólidos solubles en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C donde se puede observar que existió homogeneidad de varianza ($p > 0.05$), por lo tanto, se valida la aplicación del análisis de varianza y se recomienda el posterior uso de la prueba de comparaciones múltiples de Duncan para determinar el tratamiento con menor contenido de sólidos solubles.

Cuadro 10. Prueba de Levene modificada para el contenido de sólidos solubles en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C.

Variable respuesta	Transformación	Estadístico de Levene Modificada	p
Sólidos solubles	Básica	0.536	0.891

En el Cuadro 11, se muestra el análisis de varianza del contenido de sólidos solubles para las bayas de arándano irradiadas con luz UV-C, que muestra efecto significativo a un nivel de confianza del 95% de la dosis de irradiación y tiempo de almacenamiento.

4.3. Efecto de la dosis de irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento sobre la firmeza.

La firmeza en las bayas de arándanos irradiadas con luz UV-C disminuyó en función del tiempo de almacenamiento, produciéndose una mayor retención de la firmeza en las muestras irradiadas en comparación con la muestra control, tal y como se observa en la Figura 7.

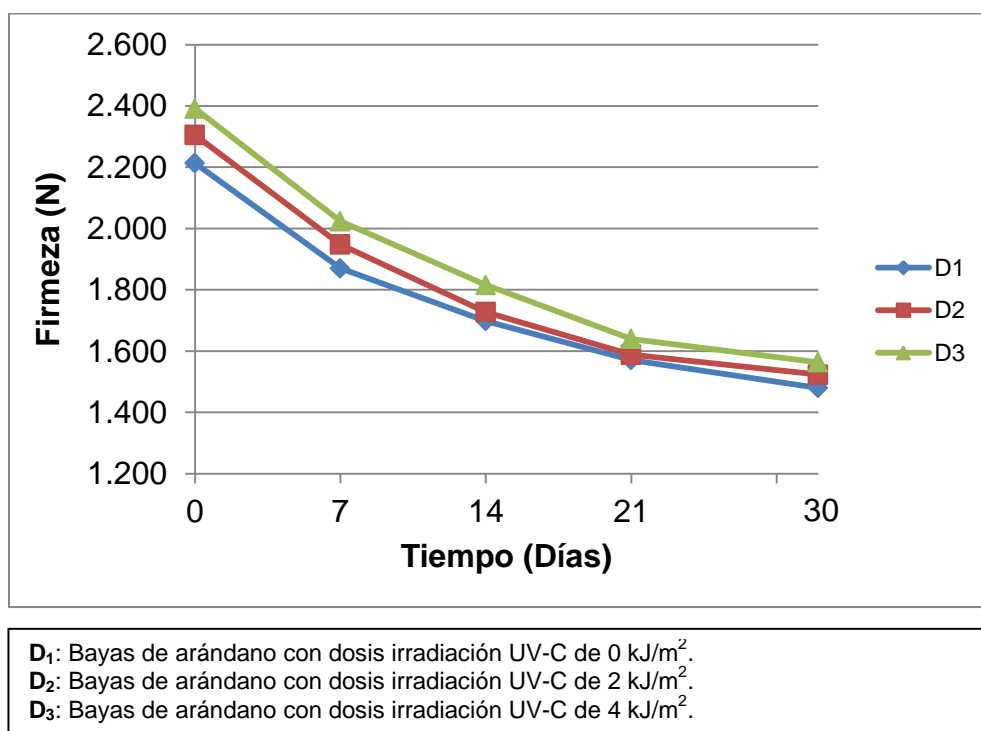


Figura 7. Valores de firmeza en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C en función de los días de almacenamiento.

Las bayas de arándano irradiadas con 4 kJ/m² (D₃) presentaron mayor firmeza durante el almacenamiento con 1.563 N el día 30, seguido de la muestra tratada con 2 kJ/m² (D₂) con 1.523 N. Así mismo, encontramos que la muestra control (D₁) presentó el menor valor con 1.480 N. Los resultados de la evaluación de firmeza se observan en el Anexo C.

Durante la maduración de la fruta uno de los cambios más notables es el ablandamiento, que está relacionado con las alteraciones bioquímicas de la pared celular, de la lámina media y a niveles de la membrana. La

firmeza de frutas mínimamente procesadas es un importante atributo de calidad que está afectado por estas enzimas que causan el ablandamiento de los tejidos de frutas y una disminución de la turgencia debido a la pérdida de agua (Pérez, 2003).

La pérdida de turgencia constituye uno de los cambios fisicoquímicos más significativos y está asociado a la pérdida de agua generada a través de la transpiración y respiración del fruto, como consecuencia se produce marchitamiento y pérdida de la consistencia del fruto (Acuña, 2009).

El avance de la maduración o del deterioro van acompañados, en general, de un ablandamiento progresivo del fruto. El retraso del ablandamiento ha sido asociado a alteraciones en la actividad de enzimas de degradación de pared celular como fenilalanina amonio liasa (PAL), peroxidasa, polifenoloxidasas, quitinasa y β -1,3-D glucanasa (Cote, 2011).

La firmeza es un atributo importante en los arándanos, debido a que estos frutos son muy perecederos. Una baya firme es signo de frescura y permite asegurar un mayor período de almacenamiento y una mejor llegada a destino. Por el contrario, se sabe que el ablandamiento aumenta la susceptibilidad al daño mecánico y al ataque de patógenos (Zapata y otros, 2010).

Cote (2011) reportó la disminución de la firmeza en fresa después de un periodo de almacenamiento de 5 días a 10 °C en los frutos control en comparación con los frutos irradiados con luz UV-C (3 W/m² y 33 W/m²). Luego de 5 días del almacenamiento los valores de firmeza fueron de 0.57 N para las fresas control, mientras que en los frutos tratados con una intensidad de 3 W/m² y 33 W/m² se registraron valores de 0.65 y 0.72 N, respectivamente.

En el Cuadro 13, se presenta la Prueba de Levene modificada para la firmeza en las bayas de arándano irradiadas con luz UV-C donde se puede observar que existió homogeneidad de varianzas ($p > 0.05$), lo cual hace valido para la aplicación del análisis de varianza y el uso de la prueba de comparaciones múltiples de Duncan para poder determinar el tratamiento con la mayor firmeza durante el almacenamiento.

Cuadro 13. Prueba de Levene modificada para la firmeza en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C.

Variable respuesta	Transformación	Estadístico de Levene Modificada	p
Firmeza	Básica	0.647	0.804

En el Cuadro 14, se muestra el análisis de varianza de la firmeza en las bayas de arándano irradiadas con luz UV-C, donde se denota efecto significativo a un nivel de confianza del 95% de la dosis de irradiación y tiempo de almacenamiento.

Cuadro 14. Análisis de varianza de la firmeza en bayas de arándanos irradiadas con luz UV-C.

Variable	Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	p
Firmeza	Dosis	0.399	2	0.199	36.747	0.000
	Tiempo	4.362	4	1.090	201.023	0.000
	Dosis * Tiempo	0.022	8	0.003	0.511	0.838
	Error	0.163	30	0.005		
	Total	4.945	44			

Beltrán (2010) reportó efecto significativo a un nivel de confianza del 95% de la distancia y dosis de irradiación UV-C sobre la firmeza en fresas con un tratamiento de luz ultravioleta de onda corta (UV-C).

En el Cuadro 15, se muestra los resultados de la prueba de comparaciones múltiples de Duncan donde se puede indicar que existió

diferencia significativa entre los tratamientos denotados por la formación de subconjuntos. Así mismo, en el subconjunto 2 se observa a los tratamientos $2 \text{ kJ/m}^2 - 30$ días de almacenamiento y $4 \text{ kJ/m}^2 - 30$ días de almacenamiento que presentaron la mayor firmeza con 1. 463 y 1.543 N, respectivamente. Siendo estos tratamientos estadísticamente iguales.

Cuadro 15. Prueba de Duncan para la prueba de firmeza en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C.

Tratamientos	Subconjunto							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$0 \text{ kJ/m}^2 - 30$ días	1.359							
$0 \text{ kJ/m}^2 - 21$ días	1.452	1.452						
$2 \text{ kJ/m}^2 - 30$ días	1.463	1.463						
$4 \text{ kJ/m}^2 - 30$ días		1.543	1.543					
$2 \text{ kJ/m}^2 - 21$ días		1.561	1.561					
$0 \text{ kJ/m}^2 - 14$ días			1.614	1.614				
$4 \text{ kJ/m}^2 - 21$ días			1.640	1.640				
$2 \text{ kJ/m}^2 - 14$ días				1.727	1.727			
$4 \text{ kJ/m}^2 - 14$ días					1.815	1.815		
$0 \text{ kJ/m}^2 - 7$ días					1.821	1.821		
$2 \text{ kJ/m}^2 - 7$ días						1.941		
$4 \text{ kJ/m}^2 - 7$ días							2.110	
$0 \text{ kJ/m}^2 - 0$ días							2.163	
$2 \text{ kJ/m}^2 - 0$ días								2.351
$4 \text{ kJ/m}^2 - 0$ días								2.452

4.4. Efecto de la dosis de irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento sobre la acidez titulable.

La acidez titulable en las bayas de arándano irradiadas con luz UV-C disminuyó en función del tiempo de almacenamiento en todos los tratamientos (Figura 8).

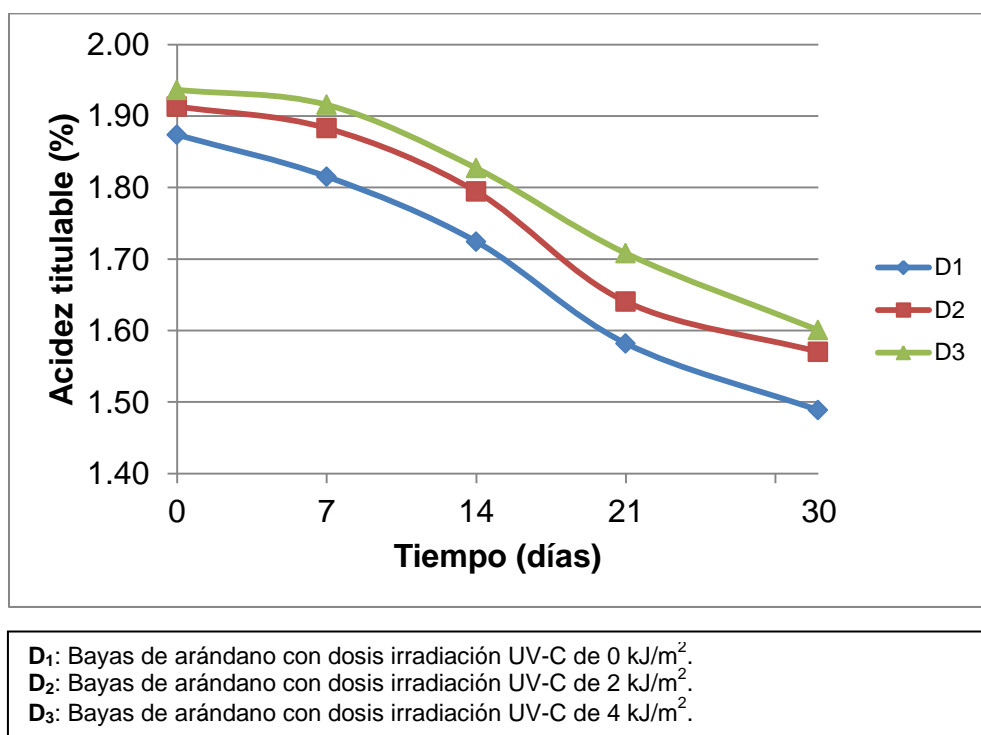


Figura 8. Acidez titulable en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C en función de los días de almacenamiento.

Las bayas de arándano irradiadas con 4 kJ/m² (D₃) presentaron la mayor acidez titulable durante el almacenamiento con 1.60%, seguido de las muestras irradiadas con 2 kJ/m² (D₂) con 1.57%. Además, encontramos que la muestra control presentó el menor valor (1.49%) al final del almacenamiento. Los resultados de la evaluación de acidez titulable se observan en el Anexo D.

La concentración de ácidos en las frutas disminuye y el de los azúcares aumenta a medida que transcurre la maduración. La pérdida de agua en frutas durante el almacenamiento debe ser siempre considerado para la interpretación de los valores de acidez titulable. La pérdida de agua provoca aumento aparente de la concentración de estos parámetros mencionados, que pueden ser mal interpretados como un verdadero cambio en la cantidad de ácidos y azúcares presentes en frutas frescas (Olivas y Barbosa, 2005).

Perkins y otros (2008) investigaron la aplicación de irradiación UV-C (0, 1, 2, 3 y 4 kJ/m²) en arándanos de arbusto alto, reportando que los tratamientos (3 y 4 kJ/m²) mostraron una mayor retención de acidez titulable, con valores 0.54 y 0.44%, respectivamente durante los 7 días de almacenamiento a 5 °C, en comparación la muestra control (0.36%).

En el Cuadro 16, se presenta la Prueba de Levene modificada aplicada a la acidez titulable de las bayas de arándano irradiadas con luz UV-C donde se puede observar que existió homogeneidad de varianzas ($p > 0.05$), lo cual valida la aplicación de análisis de varianza y el posterior uso de la prueba de comparaciones múltiples de Duncan para poder determinar el tratamiento con mayor contenido de acidez titulable.

Cuadro 16. Prueba de Levene modificada para la acidez titulable en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C.

Variable respuesta	Transformación	Estadístico de Levene Modificada	p
% Acidez titulable	Básica	0.346	0.980

En el Cuadro 17, se muestra el análisis de varianza de la acidez titulable para las bayas de arándano irradiadas con luz UV-C que muestra efecto significativo a un nivel de confianza del 95% de la dosis de irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento.

Cuadro 17. Análisis de varianza de la acidez titulable en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C.

Variable	Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	p
Acidez Titulable	Dosis	0.080	2	0.040	17.618	0.000
	Tiempo	0.818	4	0.204	89.502	0.000
	Dosis * Tiempo	0.005	8	0.001	0.254	0.976
	Error	0.069	30	0.002		
	Total	0.972	44			

En el Cuadro 18, se muestra los resultados de la prueba de comparaciones múltiples de Duncan donde se puede indicar que existió diferencia significativa entre los tratamiento denotados por la formación de subconjuntos. Así mismo, en el subconjunto 2 se encuentra el tratamiento irradiación 4 kJ/m²- 30 días de almacenamiento que presentó el mayor porcentaje de acidez titulable (1.60%).

Cuadro 18. Prueba de Duncan para la acidez titulable en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C.

Tratamientos	Subconjunto						
	1	2	3	4	5	6	7
0kJ/m ² - 30 días	1.4867						
2kJ/m ² - 30 días		1.5700					
0kJ/m ² - 21 días		1.5833					
4kJ/m ² - 30 días		1.6033					
2kJ/m ² - 21 días		1.6400	1.6400				
4kJ/m ² - 21 días			1.7100	1.7100			
0kJ/m ² - 14 días			1.7233	1.7233			
2kJ/m ² - 14 días				1.7933	1.7933		
0kJ/m ² - 7 días					1.8167	1.8167	
4kJ/m ² - 14 días					1.8267	1.8267	
0kJ/m ² - 0 días					1.8733	1.8733	1.8733
2kJ/m ² - 7 días						1.8833	1.8833
2kJ/m ² - 0 días							1.9133
4kJ/m ² - 7 días							1.9200
4kJ/m ² - 0 días							1.9367

4.5. Efecto de la dosis de irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento sobre el color.

En la Figura 9 se observa que el valor de luminosidad (L*) en las bayas de arándano irradiadas con luz UV-C disminuyó en función al tiempo de almacenamiento en todos los tratamientos.

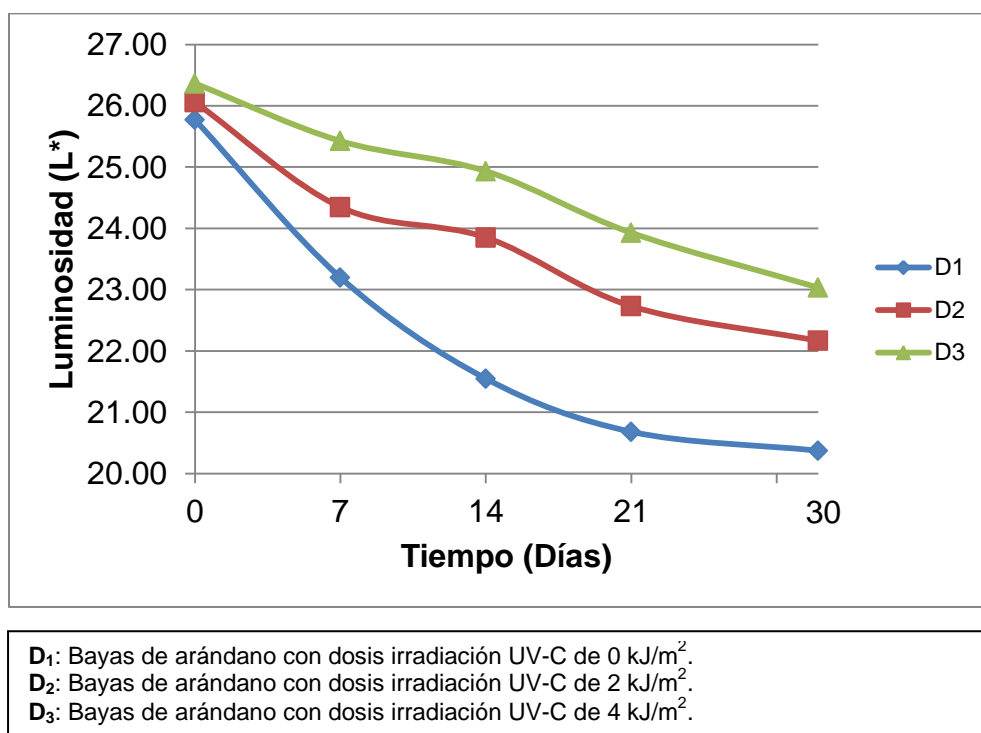


Figura 9. Valores de luminosidad L* en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C en función de los día de almacenamiento.

Las muestras de bayas de arándano irradiadas con 4 kJ/m² (D₃) presentaron los mayores valores de luminosidad a los 30 días de almacenamiento, con un valor de 23.04, seguido de las muestras tratadas con 2 kJ/m² (D₂) con 22.17. Así mismo, en las muestras control en bayas de arándano (D₁) presentaron los menores valores, con 20.37. Los resultados del valor L* durante el almacenamiento se observan en el Anexo E.

En frutos de arándano azul los compuestos que proporcionan el color azul-violeta oscuro en la epidermis son antocianinas, que son estables en medio ácido y en otros frutos alcanzan el color rojo dependiendo del pH y comúnmente unidas a un azúcar. Dichos compuestos se desarrollan durante el proceso de maduración del fruto, por lo que el color dependerá del momento de cosecha; además de las condiciones de

almacenamiento, temperatura y de la dosis de irradiación (Sandoval, 2013).

De acuerdo a otras investigaciones realizadas en arándanos de variedad Patriot, la disminución del valor de luminosidad luego del almacenamiento puede ocasionarse debido a la pérdida de la pruina, o capa cerosa que actúa como una protección del interior de la baya, ya que permite a la baya no perder la humedad y retardar la degradación (Nunes, 2004).

Sandoval (2013) reportó que frutos de arándano azul variedad Reade expuestos a una dosis de luz UV-C en rango de 1 a 5 kJ/m² almacenados por 9 días a 4 °C presentando valores de L* de 18.51 y 18.01 para las dosis de 3 y 5 kJ/m², respectivamente; por encima de la muestra control de 17.00.

Cote (2011) reportó que el valor de luminosidad (L*) en fresas irradiadas con UV-C disminuyó durante el almacenamiento por 5 días a 10 °C, en las muestras control (33,05) y manteniéndose un mayor grado de luminosidad en los frutos tratados con 33 W/m² y 3 W/m² con valores de 36.00 y 35.50, respectivamente.

En el Cuadro 19, se presenta la Prueba de Levene modificada para el valor de luminosidad L* en las bayas de arándano irradiadas con luz UV-C donde se puede observar que existió homogeneidad de varianzas ($p > 0.05$), lo cual valida la aplicación del análisis de varianza y el uso posterior de la prueba de comparaciones múltiples de Duncan para poder determinar el tratamiento con mayor valor de luminosidad L*.

Cuadro 19. Prueba de Levene modificada para el valor de luminosidad L* en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C.

Variable respuesta	Transformación	Estadístico de Levene Modificada	p
Luminosidad L*	Básica	0.720	0.738

En el Cuadro 20, se muestra el análisis de varianza del valor de luminosidad L* en las bayas de arándano irradiadas con luz UV-C, que muestra efecto significativo a un nivel de confianza del 95% de la dosis de irradiación y tiempo de almacenamiento.

Cuadro 20. Análisis de varianza del valor de luminosidad L* en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C.

Variable	Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	p
Luminosidad L*	Dosis	44.908	2	22.454	69.695	0.000
	Tiempo	98.920	4	24.730	76.759	0.000
	Dosis * Tiempo	8.156	8	1.020	3.164	0.010
	Error	9.665	30	0.322		
	Total	161.649	44			

Cote (2011) determinaron efecto significativo a un nivel de confianza del 95% de la dosis de irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento (3 o 5 días) a 10 °C sobre el valor de luminosidad L* en fresas.

En el Cuadro 21, se muestra los resultados de la prueba de comparaciones múltiples de Duncan donde se puede indicar que existió diferencia significativa entre los tratamiento denotados por la formación de subconjuntos. Así mismo, en el subconjunto 5 se encuentra el tratamiento irradiación 4 kJ/m² - 30 días de almacenamiento que presentó el mayor valor de luminosidad L* (23.03).

Cuadro 21. Prueba de Duncan para el valor de luminosidad L* en bayas de arándanos irradiadas con luz UV-C.

Tratamientos	Subconjunto									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0kJ/m ² - 30 días	20.37									
0kJ/m ² - 21 días	20.68	20.68								
0kJ/m ² - 14 días		21.55	21.55							
2kJ/m ² - 30 días			22.17	22.17						
2kJ/m ² - 21 días				22.73	22.73					
4kJ/m ² - 30 días				23.03	23.03	23.03				
0kJ/m ² - 7 días					23.20	23.20				
2kJ/m ² - 14 días						23.85	23.85			
4kJ/m ² - 21 días						23.92	23.92			
2kJ/m ² - 7 días							24.35	24.35		
4kJ/m ² - 14 días								24.93	24.93	
4kJ/m ² - 7 días									25.42	25.42
0kJ/m ² - 0 días									25.77	25.77
2kJ/m ² - 0 días										26.06
4kJ/m ² - 0 días										26.36

4.6. Efecto de la dosis de irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento sobre el contenido de antocianinas totales.

En la Figura 10 se puede observar que el contenido de antocianinas totales fue incrementando conforme transcurrieron los días de almacenamiento en todos los tratamientos.

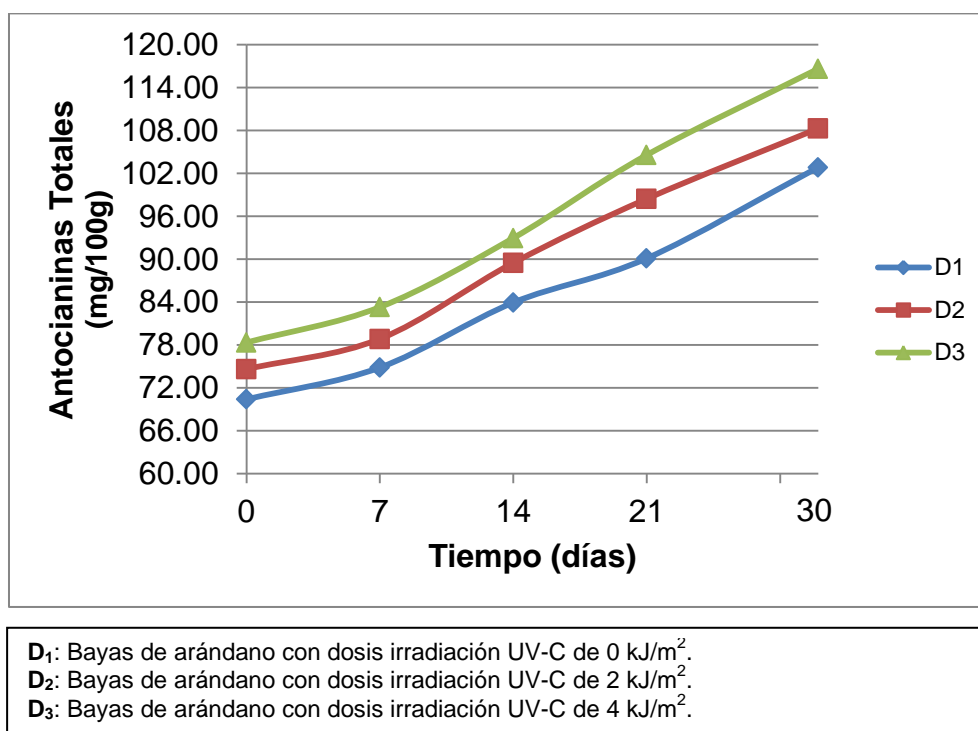


Figura 10. Contenido de antocianinas totales en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C en función de los días de almacenamiento.

La irradiación UV-C causó un efecto hórmino sobre las células de las bayas de arándanos induciendo el aumento del contenido de antocianinas totales en las muestras tratadas, en comparación, con la muestra control. La tendencia de incremento del contenido de esta variable fue mantenida durante el almacenamiento, encontrándose al día 30 valores de 116.61 y 108.26 mg/100g para las dosis de 4 kJ/m² y 2 kJ/m², respectivamente. La muestra control presentó un valor de 102.82 mg/100 g. Los resultados de la evaluación de color se observan en el Anexo F.

Algunos beneficios atribuidos a la irradiación UV-C es la inducción de mecanismos de defensa los cuales se relacionan positivamente con la resistencia a diferentes patógenos y con la reducción de desórdenes fisiológicos. La luz UV-C provoca un incremento de la concentración total de antocianinas monoméricas y flavonoles, las cuales se acumulan para proteger al tejido del fotoestrés cuando se absorbe excesiva energía

radiante que no puede ser utilizada (Rivera y otros, 2007; Del Valle y otro, 2005).

Investigaciones indican que el contenido de antocianinas totales para el géneros de *Vaccinium*, en el caso de arándano silvestre de Colombia es de 201 mg equivalente de cianidina-3-glucosido/100 g fruta fresca, mientras que para los frutos de otras especies, se encuentra en el rango de 92 a 235 mg equivalentes de cianidina-3-glucósido/100 g fruta fresca para el Northern Highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum*); de 60 a 187 mg equivalentes de cianidina-3-glucósido/100g fruta fresca para el Rabbiteye blueberry (*Vaccinium ashei*) y de 290 a 300 mg equivalentes de cianidin-3-glucósido/100g fruta fresca para Lowbush blueberry (*Vaccinium angustifolium*) (Sandoval, 2013).

En el caso de los arándanos las antocianinas están localizadas en la piel y en la pulpa de los arándanos y son las responsables del color azul oscuro de esta fruta. El contenido de antocianinas y fenoles es mayor en la piel de los frutos de arándano, pudiendo ser 4 veces mayor al contenido de estos en el fruto entero. El nivel de antocianinas en frutas de arándanos puede variar entre 25 y 495 mg de cianidina 3-glucósido/ 100g de fruta fresca (Pino, 2007).

Beltrán (2010) reportó un aumento en el contenido de antocianinas en fresas sometidas a irradiación UV-C con fluorescentes de 15 W a una distancia de 40 cm durante 7.5 min. La coloración de la fresa se volvió más roja con un valor de 0.030 (nmol de glucósido 3-pelargonidina/g fresa) para las muestras tratadas, en comparación, con las fresas control 0.024 (nmol de glucósido 3-pelargonidina/g fresa).

Perkins y otros (2008) reportaron un mayor contenido de antocianinas totales (95.0 mg/100g) en frutos de arándanos de variedad Collins tratados con 4 kJ/m² de irradiación UV-C y almacenada a 5 °C durante 7

días respectivamente, en comparación, con las muestras control (86.0 mg/100g).

Cote (2011) reportó un aumento en el contenido de antocianinas en fresas irradiadas luego de 5 días de almacenamiento a 10 °C. El contenido de antocianinas fue mayor en las muestras irradiadas a 3 W/m² (660 µmol/kg), en comparación, a las muestras de 33 W/m² (550 µmol/kg).

Sandoval (2013) reportó que en frutos frescos de arándano azul sometidos a irradiación UV-C en dosis de 3 y 5 kJ/m² mostraron significancia al aumentar el contenido de antocianinas totales a 9 días de almacenamiento a 24 °C, el contenido más alto se obtuvo para la dosis 5 kJ/m² de 286.5 mg/100g de peso fresco, en comparación, a la muestra control de 162.93 mg/100g de peso fresco.

En el Cuadro 22, se presenta la Prueba de Levene modificada para el contenido de antocianinas totales en las bayas de arándanos irradiadas con luz UV-C donde se pudo observar que existió homogeneidad de varianzas ($p > 0.05$), lo cual valida la aplicación del análisis de varianza y el uso de la prueba de comparaciones múltiples de Duncan para poder determinar el tratamiento con mayor contenido de antocianinas totales.

Cuadro 22. Prueba de Levene modificada para el valor de antocianinas totales en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C.

Variable respuesta	Transformación	Estadístico de Levene Modificada	p
Antocianinas totales	Básica	0.566	0.870

En el Cuadro 23, se muestra el análisis de varianza del valor de contenido de antocianinas totales en las bayas de arándano irradiadas con luz UV-C, encontrándose efecto significativo a un nivel de confianza del 95% de la dosis de irradiación y tiempo de almacenamiento.

Cuadro 23. Análisis de varianza del valor de antocianinas totales en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C.

Variable	Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	p
Antocianinas totales (mg/100g)	Dosis	863.813	2	431.907	11.424	0.000
	Tiempo	7143.467	4	1785.867	47.235	0.000
	Dosis * Tiempo	67.476	8	8.434	0.223	0.984
	Error	1134.247	30	37.808		
	Total	9209.004	44			

Sandoval (2013) determinó efecto significativo a un nivel de confianza del 95%, de la dosis de irradiación UV-C (0,1, 3 y 5 kJ/m²) y tiempo de almacenamiento (3, 6 y 9 días) sobre el contenido de antocianinas totales en bayas de arándano azul.

Perkins y otros (2008) determinaron efecto significativo a un nivel de confianza del 95% de la dosis de irradiación UV-C, almacenamiento y cultivar ('Bluecrop' y 'Collins') sobre el contenido de antocianinas en bayas de arándano.

En el Cuadro 24, se muestra los resultados de la prueba de comparaciones múltiples de Duncan donde se puede indicar que existió diferencias significativa entre los tratamiento denotados por la formación de subconjuntos. Así mismo, en el subconjunto 9 se encuentra el tratamiento irradiación 4 kJ/m² y 30 días de almacenamiento presentó el mayor valor de antocianinas totales con 116.60 mg/100g.

Cuadro 24. Prueba de Duncan para el contenido de antocianinas totales en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C.

Tratamientos	Subconjunto								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0kJ/m ² - 0 días	70.38								
2 kJ/m ² - 0 días	74.60	74.60							
0 kJ/m ² - 7 días	74.83	74.83							
4 kJ/m ² - 0 días	78.32	78.32	78.32						
2 kJ/m ² - 7 días	78.83	78.83	78.83	78.83					
4 kJ/m ² - 7 días		83.28	83.28	83.28	83.28				
0kJ/m ² - 14 días		83.91	83.91	83.91	83.91				
2kJ/m ² - 14 días			89.47	89.47	89.47	89.47			
0kJ/m ² - 21 días				90.09	90.09	90.09			
4kJ/m ² - 14 días					92.93	92.93	92.93		
2kJ/m ² - 21 días						98.42	98.42	98.42	
0kJ/m ² - 30 días							102.82	102.82	
4kJ/m ² - 21 días								104.54	
2kJ/m ² - 30 días								108.26	108.26
4kJ/m ² - 30 días									116.60

4.7. Efecto de la dosis de irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento sobre el contenido de mohos y levaduras.

En la Figura 11, se pueden observar el recuento de mohos y levaduras en las bayas de arándano irradiadas con luz UV-C, el cual fue incrementando en el tiempo para todos los tratamientos.

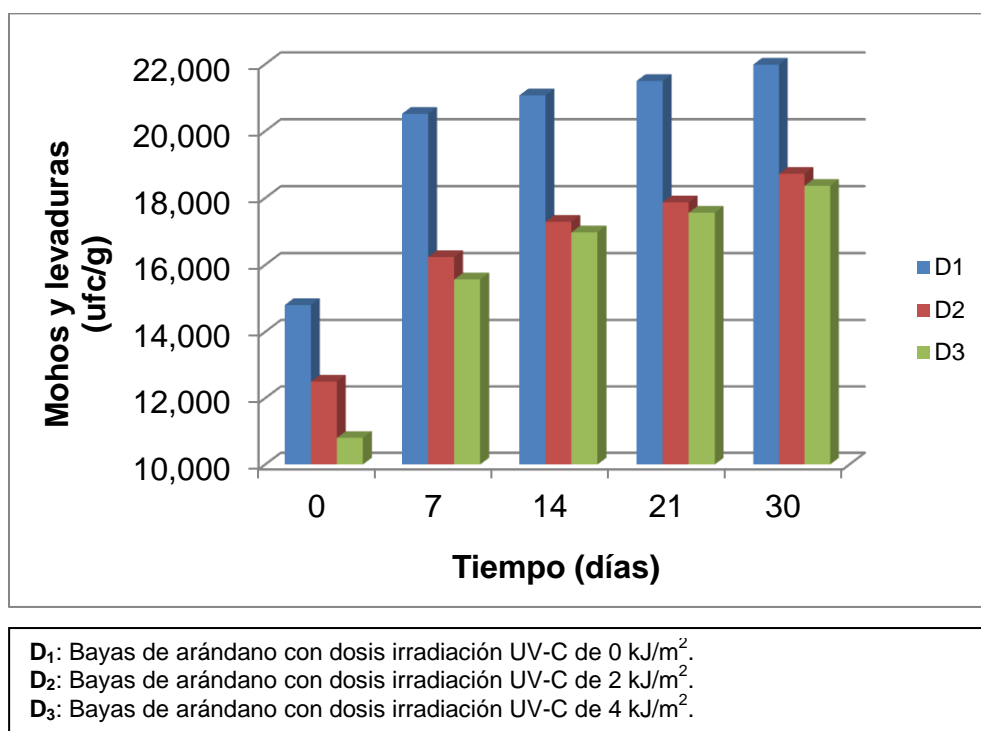


Figura 11. Mohos y levaduras en bayas de arándanos irradiadas con luz UV-C en función de los días de almacenamiento.

El recuento inicial de mohos y levaduras para la muestra control fue superior al recuento en las bayas tratadas con luz UV-C, notándose la acción antifúngica de este tratamiento físico, donde el recuento fue disminuyendo con el incremento de la dosis de irradiación. La muestra control al final del almacenamiento presentó el valor de 21987 ufc/g, en comparación, con las muestras irradiadas que mostraron recuentos de 18720 ufc/g y 18363 ufc/g, para 2 kJ/m² (D₂) y 4 kJ/m² (D₃), respectivamente. Los resultados del recuento de mohos y levadura se observan en el Anexo G.

Para el control de microorganismos en alimentos usualmente se utiliza el escaldado o pasteurización, en los últimos años la irradiación UV-C, una tecnología no térmica, se ha aplicado en el procesamiento de alimentos para inactivar varios tipos de microorganismos. Se ha comprobado la

eficacia de la irradiación UV-C en dosis de 0.05-1.50 J/cm² sobre el control de *Botrytis cinerea* en fresa (Marquenie y otros, 2002).

La irradiación UV-C afecta el ADN de los microorganismos, causando mutaciones mediante la separación de la doble hélice, evitando de esta manera su reproducción. Es así, como esta tecnología no térmica puede ser aplicada para inactivar diversos tipos de microorganismos incluyendo virus. La irradiación UV-C también actúa de manera indirecta al inducir mecanismo de resistencia al deterioro microbiano (Haro y Guerrero, 2013).

Cote (2011) reportó que luego de 5 días de almacenamiento a 10 °C en fresas, se observó un mayor aumento en el recuento total de hongos en los frutos control (7.6 log ufc/g), en comparación, con los frutos tratados con irradiación UV-C (intensidad 3 W/m²) que presentaron un valor de 6.3 log ufc/g, y los tratados con intensidad de 33 W/m² con un valor de 5.7 log ufc/g.

Sandoval (2013) utilizó frutos de arándano azul frescos que fueron sometidos a tratamientos con luz UV-C por 9 días de almacenamiento a 14 °C con dosis de 1, 3 y 5 kJ/m²; reportándose que la dosis de 3 y 5 kJ/m² presentaron la menor población de mohos y levaduras (48 000 ufc/g), en comparación, de las muestras control cuyo valor estuvo en el límite permitido de 10⁶ ufc/g.

En el Cuadro 25, se presenta la Prueba de Levene modificada para el recuento de mohos y levaduras en bayas de arándano, donde se puede observar que existió homogeneidad de varianzas ($p > 0.05$), lo cual valida la aplicación del análisis de varianza y el uso de la prueba de comparaciones múltiples de Duncan para poder determinar el tratamiento con menor contenido de mohos y levaduras.

Cuadro 25. Prueba de Levene modificada para el contenido de mohos y levaduras en bayas de arándanos irradiadas con luz UV-C.

Variable respuesta	Transformación	Estadístico de Levene Modificada	p
Mohos y Levaduras (ufc/g)	Básica	0.690	0.766

En el Cuadro 26, se muestra el análisis de varianza del recuento de mohos y levaduras en las bayas de arándano irradiadas con luz UV-C, denotándose efecto significativo a un nivel de confianza del 95% de las dosis de irradiación y tiempo de almacenamiento.

Cuadro 26. Análisis de varianza para el recuento de mohos y levaduras en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C.

Variable	Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	p
Mohos y Levaduras (ufc/g)	Dosis	0.090	2	0.045	102.060	0.000
	Tiempo	0.216	4	0.054	122.996	0.000
	Dosis * Tiempo	0.005	8	0.001	1.551	0.182
	Error	0.013	30	0.000		
	Total	0.325	44			

Sandoval (2013) determinó efecto significativo a un nivel de confianza del 95%, de la dosis de irradiación UV-C (0,1, 3 y 5 kJ/m²) y tiempo de almacenamiento (3, 6 y 9 días) a 4 °C sobre el recuento de mohos y levaduras en bayas de arándano azul.

Cote (2011) determinaron efecto significativo a un nivel de confianza del 95% de la dosis de irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento (3 o 5 días) a 10 °C sobre el recuento de bacterias mesófilas y hongos en fresas.

En el Cuadro 27, se muestra los resultados de la prueba de comparaciones múltiples de Duncan donde se puede indicar que existió

diferencia significativa entre los tratamientos denotados por la formación de subconjuntos. Así mismo, en el subconjunto 6 se encuentra el tratamiento irradiación 4 kJ/m² - 30 días de almacenamiento que presentó el menor recuento de mohos y levaduras con 18,363 ufc/g.

Cuadro 27. Prueba de Duncan para el recuento de mohos y levaduras en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C.

Tratamientos	Subconjunto							
	1	2	3	4	5	6	7	8
4 kJ/m ² - 0 días	10800							
2 kJ/m ² - 0 días		12500						
0 kJ/m ² - 0 días			14800					
4 kJ/m ² - 7 días			15563	15563				
2 kJ/m ² - 7 días			16233	16233	16233			
4 kJ/m ² - 14 días				16973	16973	16973		
2 kJ/m ² - 14 días					17290	17290	17290	
4 kJ/m ² - 21 días					17559	17559	17559	
2 kJ/m ² - 21 días						17868	17868	
4 kJ/m ² - 30 días						18363	18363	
2 kJ/m ² - 30 días							18720	
0 kJ/m ² - 7 días								20517
0 kJ/m ² - 14 días								21067
0 kJ/m ² - 21 días								21500
0 kJ/m ² - 30 días								21988

4.8. Efecto de la dosis de irradiación UV-C, temperatura y tiempo de almacenamiento sobre la aceptabilidad general en bayas de arándano.

En la Figura 12, se puede observar la evaluación de aceptabilidad general mediante la aplicación de una escala hedónica de 9 puntos en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C durante almacenamiento. En el Anexo H-L, se muestran los resultados de la evaluación sensorial.

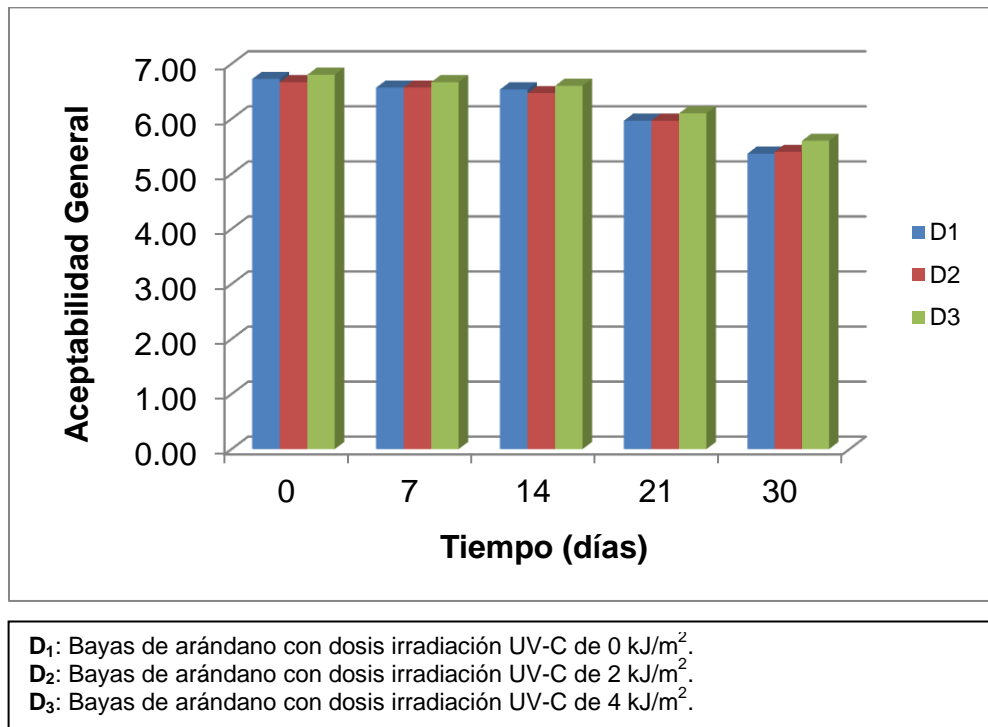


Figura 12. Aceptabilidad general en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C en función de los días de almacenamiento.

Según la percepción general de los panelistas indicadas en la cartilla de evaluación, en los días 0, 7 y 14 de almacenamiento, los panelistas indicaron en las muestras un sabor dulce, muy característico del arándano, y un sabor un poco ácido, como también una firmeza táctil rígida, teniendo percepciones de me gusta ligeramente y me gusta mucho.

El día 21 y 30 se observó una disminución en la aceptabilidad general de las bayas de arándano, siendo la muestra con ligera mayor aceptación aquella con irradiación 4 kJ/m² donde se percibió de mejor manera el sabor agridulce del fruto, con una percepción me gusta ligeramente y un rango promedio de 2.08. El día 30 se observó que la muestra control denotó menor aceptación, donde los panelistas percibieron en los frutos sabor menos dulce, un sabor poco más ácido y una firmeza semiblanda, presentando percepciones de ni me gusta ni me disgusta.

La calidad de los alimentos por los consumidores resulta de una combinación de parámetros como la apariencia, textura, sabor, aroma y el valor nutricional. La influencia de cada atributo es dependiente del alimento, aunque el impacto visual es el factor decisivo de la compra (Cote, 2011).

En el Cuadro 28, se presenta los resultados de la prueba de Friedman para la aceptabilidad general en función a la dosis de irradiación y tiempo de almacenamiento para las bayas de arándano, denotándose que no existió diferencia significativa un nivel de confianza del 95% entre los tratamientos. En un estudio realizado por Beltrán (2010) reportó que fresas tratadas con irradiación UV-C obtuvieron mayor aceptabilidad y preferencia por los evaluadores en comparación con las fresas no irradiadas. Mediante el análisis estadístico se reportó que no existió diferencia significativa en el efecto de los tratamientos en fresas.

Cuadro 28. Prueba de Friedman para la aceptabilidad general en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C.

Tratamientos	Rango promedio	Chi-cuadrado	p
0kJ/m ² – Día 0	1.75	3.78	0.151
2kJ/m ² – Día 0	2.20		
4kJ/m ² – Día 0	2.05		
0kJ/m ² – Día 7	1.97	0.06	0.969
2kJ/m ² – Día 7	2.02		
4kJ/m ² - Día 7	2.02		
0kJ/m ² – Día 14	1.97	0.14	0.932
2kJ/m ² – Día 14	1.98		
4kJ/m ² – Día 14	2.05		
0kJ/m ² – Día 21	2.07	1.24	0.537
2kJ/m ² – Día 21	1.85		
4kJ/m ² – Día 21	2.08		
0kJ/m ² – Día 30	1.93	0.76	0.686
2kJ/m ² – Día 30	1.95		
4kJ/m ² – Día 30	2.12		

V. CONCLUSIONES

Se determinó efecto significativo de la dosis de irradiación y tiempo de almacenamiento sobre el contenido de sólidos solubles, pérdida de peso, firmeza, acidez titulable, color, contenido de antocianinas totales, y recuento de mohos y levaduras en bayas de arándanos. A excepción de la variable de aceptabilidad general, donde no se encontró efecto significativo.

El tratamiento 4 kJ/m² de dosis de irradiación presentó la mayor luminosidad, firmeza, acidez titulable y contenido de antocianinas totales; el menor contenido de sólidos solubles, pérdida de peso, y recuento de mohos y levaduras en las bayas de arándano durante 30 días de almacenamiento a 1 °C.

El tratamiento 4 kJ/m² de dosis de irradiación, obtuvo la mayor aceptabilidad general en bayas de arándano a los 30 días de almacenamiento con un rango promedio de 2.12.

VI. RECOMENDACIONES

Caracterizar el contenido de antocianinas en las bayas de arándano, además de las diferentes variedades que se cultivan en la región como la variedad Biloxi, Emerald, Elliot y otras variedades highbush.

Evaluar el efecto de la irradiación UV-C en el contenido de fenoles totales, flavonoides totales y capacidad antioxidante que este fruto posee, dándole un valor a la investigación de este alimento con alto valor funcional.

Evaluar efecto de la irradiación UV-C en combinación con otras tecnologías como tratamientos con solución desinfectante (ácidos orgánicos o sales de las mismas) o la utilización de UV-C, ozono y agua electrolizada oxigenada, con el objetivo de inhibir la proliferación de microorganismos e incrementar la vida útil de frutas mínimamente procesadas.

VII. BIBLIOGRAFIA

Acuña, J. 2009. Preservación de pepinos mediante el empleo de coberturas de quitosana. Universidad de La Habana. Tesis para título en Licenciatura en Ciencias Alimentarias

Alegría, C.; Pinheiro, J.; Duthoit, M.; Goncalves, E.; Moldao- Martins, M. y Abreu, M. 2012. The effect of abiotic stress pre-treatments on quality attributes of fresh-cut carrot cv. Nantes. University of Lisbon, Lisbon – Portugal.

Andrade-Cuvi, Maria J., Moreno Guerrero, Carlota; Henriquez Bucheli, Alejandra; Gómez Gordillo, Alejandra. 2010. Influencia de la radiación UV-C como tratamiento postcosecha sobre carambola (*Averroha carambola* L.) mínimamente procesada almacenada en refrigeración. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha. Vol. 11, núm. 1, pp. 18-27.

Anzaldúa-Morales A. 1994. La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica. Editorial Acribia. Zaragoza, España.

Asociación de Exportadores ADEX, 2009. Ficha de Requisitos Técnicos de Acceso al Mercado de EEUU. Requisitos No Arancelarios para Arándano Fresco “*Vaccinium corymbosum*”.

Bacteriological Analytical Manual (BAM). 2001. BAM: Yeasts, Molds and Mycotoxins. Chapter 18 (En línea). Disponible en: <http://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/LaboratoryMethods/ucm071435.htm>. Fecha de acceso: 03 de abril de 2013.

Beltrán, A. 2010. Estudio de la vida útil de fresas (*Fragaria vesca*) mediante tratamiento con luz ultravioleta de onda corta UV-C. Trabajo de grado, Ingeniería en Alimentos, Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.

Bravo, J. 2012. Mercado de arándanos, sin nubarrones en el horizonte. ODEPA Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. Ministerio de Agricultura. Gobierno de Chile.

Castillo, C. 2008. Manual de Buenas Prácticas Agrarias Sostenibles de los Frutos Rojos. Fundación Doñana 21. Noviembre 2008. España.

Chiabrando, V.; Giacalone, G.; Rolle, L. 2009. Mechanical behaviour and quality traits of highbush blueberry during postharvest storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture* N° 89; 989-992.

Colima, 2010. Arándano: Perfil Comercial. Secretaría de Desarrollo Rural. Dirección de Comercialización y Planeación. Estado de Colima-México.

Contreras, M. 2010. Efecto de la aplicación de CPPU sobre la calidad de fruta en arándano alto (*Vaccinium corymbosum* L.). Tesis para título de Ingeniero Agrónomo. Universidad de la Frontera. Temuco-Chile.

Coria, L.; Peralta, F.; Albarracín, P. 2008. Análisis de Antocianinas en Arándanos del NOA. Universidad Nacional de Tucumán. Tucumán-Argentina.

Cote, S. 2011. Efecto de la intensidad de la radiación UV-C sobre la calidad sensorial, microbiológica y nutricional de frutos. Tesis para título de Magister en Tecnología e Higiene de los Alimentos. Universidad Nacional de La Plata. Buenos Aires-Argentina.

Del Valle, G.; González, A.; Báez, R. 2005. Antocianinas en uva (*Vitis Vinifera* L.) y su relación con el color. *Revista Fitotecnia Mexicana* Vol. 28, número 004, pp. 359-368.

Domínguez, L. 2011. Luz ultravioleta en la conservación de alimentos. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. Alimentos Argentinos. pp 70-76.

Figuroa, D.; Guerrero, J.; Bensch, E. 2010. Efecto de momento de cosecha y permanencia en huerto sobre la calidad en poscosecha de arándano alto (*Vaccinium corymbosum* L.); cvs. Berkeley, Brigitta y Elliott durante la temporada 2005-2006. IDESIA Chile, Vol 28, N° 1, pp 79-84.

Forney, C. 2009. Postharvest Issues in Blueberry and Cranberry and Methods to Improve Market-Life. Atlantic Food and Horticulture Research Centre. N° 810, pp. 785-798.

Godoy, A. 2004. Conservación de dos variedades de arándano alto en condiciones de frío convencional. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar de Plata. Buenos Aires – Argentina.

González, G.; Villegas-Ochoa, M.; Cruz-Valenzuela, M.; Vásquez, F. 2006. Irradiación (UV-C) de mango fresco cortado y su efecto en la capacidad antioxidante. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. pp 277-282.

González-Aguilar, G.; Ayala-Zavala, J.; Rivera-López, J.; Zavaleta-Gatica, R.; Villegas-Ochoa, M.; Tejedor Espinoza, W. 2005. Reducción de deterioro en frutos de mango, durazno y nectarina utilizando irradiación ultravioleta (UV-C). Ciencia en la frontera: revista de ciencia y tecnología de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Vol. 3, N° 1, pp 49-57.

Haro M., J.; Guerrero B., J. 2013. Efecto de la radiación UV-C en frutas y verduras. Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos Vol. 7, pp 68-77.

Hoffmann, A.; De Souza Sebben, S. 2003. 1° Seminário Brasileiro sobre Pequenas Frutas. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Vacaria, Rio Sur.

Jara, G. 2012. Características de los arándano cultivados en Perú. Licenciada en Ciencias Biológicas. Magister en Ciencias. Santiago-Chile.

Kuskosky, E.; Asuero, A.; Troncoso, A.; Mancini-Filho, J. 2005. Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*. Vol 25 N° 3, pp 726-732.

Latorre, B.; Rojas, S.; Díaz, G.; Chuaqui, H. 2012. Germicidal effect of UV light on epiphytic fungi isolated from blueberry. Research paper. *Ciencia e Investigación Agraria*. Vol 39, N° 3 pp. 473-480.

Marquenie, D.; Michiels, C.W.; Geeraerd, A.H.; Schenk, A.; Soontjens, C.; Van Impe, J.F.; Nikolai, B. M. (2002). Using survival analysis to investigate the effect of UV-C and heat treatment on storage rot of strawberry and sweet cherry. *International Journal Food Microbiology*. 73: 187-196. (En Línea). Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168160501006481>

Nunes, M.C.; Emond, J.P.; Brecht, J. 2004. Quality curves for highbush blueberries as a function of the storage temperature. *Proceedings of the Ninth North American Blueberry Research*. Vol 3 N° 3, pp 423-438.

Nuñez Barrios, A.; NeSmith S.; Sánchez E.; Prussia, S. 2005. Influencia de métodos de cosecha y temperaturas de almacenamiento en la calidad del arándano (*Vaccinium Ashei R.*). *Revista Fitotecnia Mexicana*. Vol-28 pp. 385-388.

Oficina Comercial del Perú en Miami. 2011. Perfil de Mercado de Arándanos en los Estados Unidos de Norteamérica.

Olivas, G. y Barbosa, G. 2005. Edible coatings for fresh-cut fruits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. Vol. 45, pp: 657-670.

Pelayo, C.; Castillo, D. 2002. Técnicas de Manejo Poscosecha a pequeña escala: Manual para los Productos Hortofrutícolas. Series de Horticultura Postcosecha N° 8. Universidad Autónoma Metropolitana. Iztapala, México.

Pérez, L. 2003. Aplicación de métodos combinados para el control del desarrollo del pardeamiento enzimático en pera (variedad Blanquilla) mínimamente procesada. Tesis doctoral de la Universidad Politécnica de Valencia.

Perkins-Veazie, P.; Collins, J. y Howard, L. 2008. Blueberry fruit response to postharvest application of ultraviolet radiation. *Postharvest Biology and Technology* 47 pp. 280-285.

Pino, C. 2007. Descripción del desarrollo vegetativo y de las características físicas y químicas de los frutos de cuatro clones de arándano alto (*Vaccinium corymbosum* L.). Tesis para grado de Licenciado en Agronomía. Universidad Austral de Chile. Valdivia-Chile.

RedAgricola. 2013. Arándanos en Perú: Situación actual y perspectivas. (En Línea). Disponible en:
<http://www.redagricola.com/reportajes/frutales/arandanos-en-peru-situacion-actual-y-perspectivas>. Fecha de acceso: 23 de marzo de 2013.

Rivera, D.; Gardea, A.; Martínez, M.; González-Aguilar, G. 2007. Efectos Bioquímicos Postcosecha de la irradiación UV-C en frutas y hortalizas. *Revista Fitotecnia Mexicana*. Vol-30 pp. 361-372.

Sandoval, A. 2013. Uso de luz UV-C en la calidad del arándano azul (*Vaccinium Ashei* Reade). Trabajo de Grado para Maestra en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Mexico.

Scheihing, P. 2005. Elaboración de Vino de Arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) como materia prima para la Producción de Vinagre. Tesis para Licenciado en Ciencia de Alimentos. Universidad Austral de Chile. Valdivia-Chile.

Stückrath, R.; Petzold, G. 2007. Formulación de una Pasta Gelificada a partir del descarte de Arándanos (*Vaccinium corymbosum* L.). *Información Tecnología*, Vol 18 N° 2, pp 53-60.

Vargas, R.J. 2010. Application of irradiation technology to the peruvian asparagus. ECIPERU. 7 (2): 63-68. (En Línea). Disponible en: http://revistas.concytec.gob.pe/scielo.php?pid=S1813-01942010000200010&script=sci_arttext

Vicente, A., Pineda, C., Lemoine, L., Civello, P., Martínez, G., Chaves, A. (2005). UV-C treatments reduce decay, retain quality and alleviate chilling injury in pepper. Postharvest Biol. Technol. No. 35; 69-79. (En Línea). Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925521404001656>

Vilches, F. 2005. Formulación y Elaboración de un “snack” de arándano con incorporación de fibra dietética. Tesis para el Título de Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile.

Villalobos, H. 2013. Efecto de la dosis de irradiación UV-C sobre las características fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales de las rebanadas de carambola (*Averrhoa carambola* L.) mínimamente procesada. Trabajo de grado, Ingeniería de Industrias Alimentarias, Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo.

Zamorano, M. 2005. Determinación del grado de resistencia de aislamientos de *Botrytis cinerea* Pers. ex Fr. obtenidos de arándano (*Vaccinium corymbosum* L. y *Vaccinium Ashei* Reade.) a los fungicidas iprodiona, benomilo y captan. Tesis para el grado de Licenciado en Agronomía. Universidad Austral de Chile. Valdivia-Chile.

Zapata, L.; Malleret, A.D.; Lesa, C.E.; Rivadeneira, M.F. 2010. Estudio sobre cambios de la firmeza de bayas de arándanos durante su maduración. Ciencia, Docencia y Tecnología. Año XXI N° 41. pp 159-171.

VIII. ANEXO

Anexo A. Pérdida de peso (%) en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C durante el almacenamiento.

REPETICION 1

Tiempo (Días)	Pérdida de peso (%)		
	D1	D2	D3
0	0.00	0.00	0.00
7	3.56	3.50	3.15
14	6.00	5.88	5.87
21	8.79	8.44	7.54
30	11.12	10.10	8.89

REPETICION 2

Tiempo (Días)	Pérdida de peso (%)		
	D1	D2	D3
0	0.00	0.00	0.00
7	3.38	3.08	2.71
14	6.12	5.47	5.10
21	8.86	8.77	8.63
30	10.94	10.41	10.36

REPETICION 3

Tiempo (Días)	Pérdida de peso (%)		
	D1	D2	D3
0	0.00	0.00	0.00
7	2.83	2.73	2.72
14	6.70	6.34	6.30
21	8.96	8.70	8.65
30	10.30	10.16	9.91

Anexo B. Contenido de sólidos solubles (°Brix) en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C durante el almacenamiento.

REPETICION 1

Tiempo (Días)	Sólidos Solubles (°Brix)		
	D1	D2	D3
0	13.55	13.55	13.53
7	13.85	13.75	13.70
14	14.05	13.88	13.83
21	14.15	14.08	14.03
30	14.40	14.30	14.28

REPETICION 2

Tiempo (Días)	Sólidos Solubles (°Brix)		
	D1	D2	D3
0	13.35	13.30	13.19
7	13.55	13.40	13.20
14	13.60	13.45	13.40
21	14.00	13.85	13.80
30	14.50	14.30	14.25

REPETICION 3

Tiempo (Días)	Sólidos Solubles (°Brix)		
	D1	D2	D3
0	13.50	13.40	13.38
7	13.70	13.55	13.55
14	13.85	13.80	13.70
21	14.20	14.15	14.05
30	14.40	14.30	14.15

Anexo C. Acidez titulable (%) en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C durante el almacenamiento.

REPETICION 1

Tiempo (Días)	Acidez Titulable (%)		
	D1	D2	D3
0	1.92	1.94	1.96
7	1.84	1.92	1.93
14	1.79	1.85	1.86
21	1.53	1.54	1.72
30	1.48	1.50	1.64

REPETICION 2

Tiempo (Días)	Acidez Titulable (%)		
	D1	D2	D3
0	1.83	1.88	1.95
7	1.80	1.86	1.93
14	1.67	1.76	1.82
21	1.57	1.68	1.68
30	1.47	1.61	1.52

REPETICION 3

Tiempo (Días)	Acidez Titulable (%)		
	D1	D2	D3
0	1.87	1.92	1.90
7	1.81	1.87	1.90
14	1.71	1.77	1.80
21	1.65	1.70	1.73
30	1.51	1.60	1.65

Anexo D. Valor de luminosidad L* en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C durante el almacenamiento.

REPETICION 1

Tiempo (Días)	Luminosidad L*		
	D1	D2	D3
0	25.59	26.05	26.54
7	22.33	23.72	25.36
14	20.65	23.46	24.95
21	20.43	22.91	24.11
30	21.04	22.33	23.05

REPETICION 2

Tiempo (Días)	Luminosidad L*		
	D1	D2	D3
0	25.79	26.02	26.00
7	23.64	24.50	25.61
14	22.89	23.93	25.04
21	21.06	22.40	24.52
30	20.23	21.62	24.00

REPETICION 3

Tiempo (Días)	Luminosidad L*		
	D1	D2	D3
0	25.94	26.12	26.56
7	23.63	24.83	25.31
14	21.11	24.17	24.81
21	20.57	22.88	23.15
30	19.85	22.56	22.06

Anexo E. Evaluación de la firmeza (N) en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C durante el almacenamiento.

REPETICION 1

Tiempo (Días)	Textura (N)		
	D1	D2	D3
0	2.197	2.291	2.418
7	1.992	2.040	2.175
14	1.678	1.749	1.921
21	1.434	1.505	1.597
30	1.302	1.408	1.446

REPETICION 2

Tiempo (Días)	Textura (N)		
	D1	D2	D3
0	2.173	2.383	2.492
7	1.692	1.810	2.051
14	1.608	1.713	1.743
21	1.431	1.624	1.682
30	1.395	1.510	1.639

REPETICION 3

Tiempo (Días)	Textura (N)		
	D1	D2	D3
0	2.119	2.381	2.446
7	1.780	1.975	2.104
14	1.556	1.721	1.783
21	1.492	1.555	1.641
30	1.382	1.473	1.545

Anexo F. Contenido de antocianinas totales en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C durante el almacenamiento.

REPETICION 1

Tiempo (Días)	Antocianinas (mg/100g)		
	D1	D2	D3
0	71.73	75.44	78.90
7	74.60	77.70	81.27
14	82.06	85.47	91.38
21	90.26	94.02	99.42
30	99.29	103.42	109.36

REPETICION 2

Tiempo (Días)	Antocianinas (mg/100g)		
	D1	D2	D3
0	69.29	73.36	77.95
7	72.75	76.29	82.63
14	77.12	83.92	92.89
21	85.60	92.32	100.78
30	95.87	101.55	115.67

REPETICION 3

Tiempo (Días)	Antocianinas (mg/100g)		
	D1	D2	D3
0	70.13	75.02	78.13
7	77.14	82.52	85.94
14	92.57	99.02	94.54
21	94.42	108.92	113.44
30	113.30	119.81	124.79

Anexo G. Recuento de mohos y levaduras (ufc/g) en bayas de arándano irradiadas con luz UV-C durante el almacenamiento.

REPETICION 1

Tiempo (Días)	Mohos y levaduras (ufc/g)		
	D1	D2	D3
0	14,800	12,500	10,800
7	20,950	17,590	16,260
14	21,480	18,880	17,990
21	22,045	19,360	18,635
30	22,297	19,528	18,750

REPETICION 2

Tiempo (Días)	Mohos y levaduras (ufc/g)		
	D1	D2	D3
0	14,800	12,500	10,800
7	20,900	15,860	15,830
14	21,450	16,990	16,610
21	21,961	17,360	17,330
30	22,877	18,497	18,478

REPETICION 3

Tiempo (Días)	Mohos y levaduras (ufc/g)		
	D1	D2	D3
0	14,800	12,500	10,800
7	19,700	15,250	14,600
14	20,270	16,000	16,320
21	20,495	16,885	16,712
30	20,789	18,135	17,862

Anexo H. Resultados de evaluación sensorial de bayas de arándano irradiadas con luz UV-C durante el almacenamiento al día 0.

Día 0	D1	D2	D3
Jueces	125	367	947
1	7	8	8
2	6	7	5
3	6	5	8
4	7	8	8
5	7	8	8
6	7	8	8
7		8	8
8	5	7	6
9	6	5	7
10	7	6	5
11	7	7	6
12	8	4	6
13	7	7	6
14	7	8	8
15	5	6	6
16	7	8	8
17	7	8	8
18	6	5	7
19	7	7	6
20	8	4	6
21	7	8	8
22	5	6	5
23	7	7	6
24	8	4	6
25	7	8	8
26	7	7	6
27	8	4	6
28	7	8	8
29	5	6	5
30	7	8	8
TOTAL	195	200	204
PROMEDIO	6.7	6.7	6.8

Anexo I. Resultados de evaluación sensorial de bayas de arándano irradiadas con luz UV-C durante el almacenamiento al día 7.

Día 7	D1	D2	D3
Jueces	125	367	947
1	6	7	6
2	7	6	8
3	8	6	7
4	5	6	6
5	6	7	6
6	6	7	7
7	6	7	6
8	5	6	6
9	7	6	6
10	7	6	6
11	6	7	7
12	5	6	6
13	6	5	7
14	6	8	8
15	7	8	7
16	6	7	7
17	6	7	6
18	8	7	7
19	7	6	6
20	7	6	6
21	7	6	7
22	8	6	8
23	7	8	7
24	7	6	7
25	6	7	8
26	6	7	6
27	7	7	6
28	7	6	6
29	8	7	7
30	7	6	7
TOTAL	197	197	200
PROMEDIO	6.6	6.6	6.7

Anexo J. Resultados de evaluación sensorial de bayas de arándano irradiadas con luz UV-C durante el almacenamiento al día 14.

Día 14	D1	D2	D3
Jueces	125	367	947
1	7	8	9
2	6	7	9
3	5	6	4
4	6	7	7
5	8	8	9
6	6	6	7
7	6	8	7
8	7	7	8
9	6	8	7
10	7	8	6
11	6	7	9
12	8	6	8
13	6	5	6
14	6	5	7
15	6	5	5
16	5	7	6
17	6	6	6
18	7	5	6
19	6	6	7
20	9	5	6
21	7	7	6
22	6	6	5
23	7	6	6
24	6	6	7
25	9	7	6
26	6	6	5
27	6	7	6
28	7	6	6
29	6	7	6
30	7	6	6
TOTAL	196	194	198
PROMEDIO	6.5	6.5	6.6

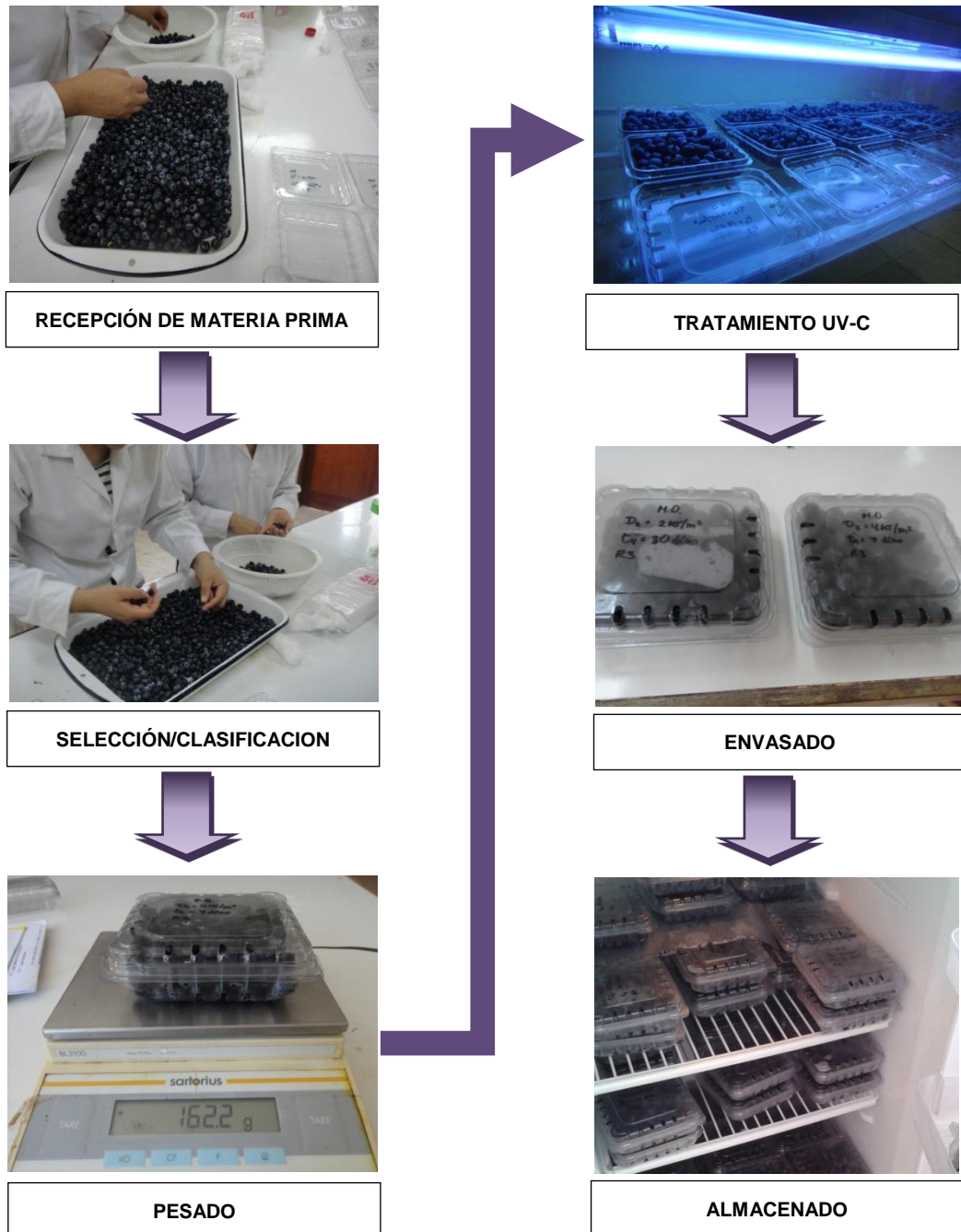
Anexo K. Resultados de evaluación sensorial de bayas de arándano irradiadas con luz UV-C durante el almacenamiento al día 21.

Día 21	D1	D2	D3
Jueces	125	367	947
1	6	6	8
2	7	9	8
3	6	5	6
4	6	5	5
5	7	6	7
6	6	6	7
7	7	6	8
8	5	6	6
9	5	5	6
10	7	5	7
11	6	5	6
12	6	7	6
13	5	6	5
14	7	6	5
15	7	6	6
16	6	5	6
17	6	5	6
18	6	6	5
19	4	6	6
20	5	8	4
21	4	6	6
22	6	5	5
23	5	6	4
24	6	5	6
25	5	6	8
26	6	5	6
27	7	6	7
28	6	6	5
29	7	6	5
30	7	9	8
TOTAL	179	179	183
PROMEDIO	6.0	6.0	6.1

Anexo L. Resultados de evaluación sensorial de bayas de arándano irradiadas con luz UV-C durante el almacenamiento al día 30.

Día 30	D1	D2	D3
Jueces	125	367	947
1	5	3	5
2	4	3	4
3	8	8	7
4	6	7	6
5	5	5	5
6	5	6	5
7	6	4	5
8	4	5	6
9	5	4	5
10	6	7	6
11	4	8	6
12	5	6	7
13	4	6	6
14	8	4	6
15	5	4	6
16	4	6	6
17	5	6	7
18	5	6	4
19	6	7	5
20	6	5	6
21	4	6	6
22	7	5	6
23	5	6	5
24	6	4	5
25	6	5	6
26	5	6	4
27	6	6	6
28	5	6	6
29	5	4	6
30	6	4	5
TOTAL	161	162	168
PROMEDIO	5.4	5.4	5.6

Anexo M. Proceso de elaboración de bayas de arándano irradiadas con luz UV-C.



Anexo N. Tratamiento de D1, D2 y D3 al final del almacenamiento.