

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**



**EFFECTO DE LA DOSIS DE IRRADIACIÓN UV-C Y TIEMPO DE
ALMACENAMIENTO SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS
FISICOQUÍMICAS, CONTENIDO DE ANTOCIANINAS, RECuento
DE MOHOS Y LEVADURAS Y ACEPTABILIDAD GENERAL EN
JUGO DE GRANADA (*Punica granatum* L.) VARIEDAD
WONDERFUL**

TESIS para obtener el título de:

INGENIERA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

FRANCIS OLENKA MOGOLLÓN SÁNCHEZ

TRUJILLO, PERU

2016

La presente tesis ha sido aprobada por el siguiente Jurado:

Ing. Dr. Fernando Rodríguez Avalos
PRESIDENTE

Ing. Ms. Luis Márquez Villacorta
SECRETARIO

Ing. Ms. Ana Cecilia Ferradas Horna
VOCAL

Ing. Ms. Gabriela del Carmen Barraza Jáuregui
ASESORA

DEDICATORIA

A Dios, luz que guía mis sueños y los conduce a la excelencia.

A mis familiares y amigos por apoyarme en cada instante de mi vida.

AGRADECIMIENTO

A Dios y a mi familia, porque nunca dudaron de mis logros y me brindaron todo lo necesario para salir adelante.

A la Ing. Ms. Gabriela Barraza Jáuregui, como asesora y amiga, por brindarme sabios consejos y transmitirme parte de su experiencia profesional para el desarrollo y culminación del presente trabajo de investigación.

A los Miembros del Jurado: Dr. Fernando Rodríguez, Ms. Luis Márquez Villacorta y Ms. Ana Cecilia Ferradas Horna por sus acertadas observaciones en la evaluación de este trabajo de investigación y por formar parte de mi formación académica a lo largo de los 5 años universitarios, permitiéndome ser la profesional que soy hoy.

A mis amigos en general por el apoyo y amistad brindados en los años de vida universitaria, por compartir mis aciertos y fracasos y a pesar de eso seguir creyendo en mí hasta el día de hoy.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
CARATULA.....	i
MIEMBROS DEL JURADO.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE CUADROS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvii
RESUMEN.....	xviii
ABSTRACT.....	xxi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISION DE BIBLIOGRAFÍA.....	5
2.1. Granada.....	5
2.1.1. Descripción.....	5
2.1.2. Composición y valor nutricional de la granada.....	6
2.1.3. Compuestos biactivos en granada.....	6
2.2. Usos de la granada.....	7
2.3. Jugos.....	8
2.4. Propiedades funcionales del jugo de granada.....	8
2.5. Características microbiológicas de los jugos de frutas.....	9
2.6. Luz ultravioleta.....	9
2.6.1. Generalidades.....	9
2.6.2. Mecanismo de acción de la irradiación UV-C.....	11
2.6.3. Caudal.....	11
2.6.4. Dosis.....	12
2.6.5. Irradiación UV-C en alimentos líquidos.....	14

2.6.6. Efecto de la irradiación UV-C sobre los compuestos antioxidantes.....	16
2.7. Evaluación sensorial.....	17
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	20
3.1. Lugar de ejecución.....	20
3.2. Materiales, reactivos, instrumentos y equipos.....	20
3.2.1. Material prima.....	20
3.2.2. Instrumentos.....	20
3.2.2. Equipos.....	20
3.2.4. Reactivos.....	21
3.2.5. Otros.....	21
3.3. Metodología experimental.....	21
3.3.1. Esquema experimental.....	21
3.3.2. Diagrama de flujo del proceso experimental.....	23
3.3.3. Métodos de análisis.....	27
3.3.3.1. Análisis fisicoquímico.....	27
3.3.3.2. Contenido de antocianinas.....	28
3.3.3.3. Recuento de mohos y levaduras.....	29
3.3.3.4. Evaluación sensorial.....	29
3.3.4. Análisis estadístico.....	31
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
4.1. Caracterización del jugo de granada.....	32
4.2. Efecto de la irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento en las características fisicoquímicas de jugo de granada.....	32
4.3. Contenido de antocianinas totales.....	39
4.4. Recuento de mohos y levaduras.....	44
4.5. Preferencia sensorial.....	50
V. CONCLUSIONES.....	53
VI. RECOMENDACIONES.....	55
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	56

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Valores de pH y sólidos solubles de jugo de granada irradiado con luz UV-C durante el almacenamiento a 2 °C.....	29
Cuadro 2. Prueba de Levene modificada para valores de pH y sólidos solubles de jugo de granada irradiado con luz UV-C durante el almacenamiento a 2 °C.....	31
Cuadro 3. Análisis de varianza para los valores de pH y sólidos solubles de jugo de granada irradiado con luz UV-C durante el almacenamiento a 2 °C	32
Cuadro 4. Prueba de Levene modificada para contenido de antocianinas en jugo de granada irradiado con luz UV- durante el almacenamiento a 2 °C	34
Cuadro 5. Análisis de varianza para contenido de antocianinas en jugo de granada irradiado con luz UV-C durante el almacenamiento a 2 °C.....	35
Cuadro 6. Prueba de Tukey para contenido de antocianinas totales en jugo de granada irradiado con luz UV-C durante el almacenamiento a 2 °C	36
Cuadro 7. Prueba de Levene modificada para recuento de mohos y levaduras en jugo de granada irradiado con luz UV- durante el almacenamiento a 2 °C	38
Cuadro 8. Análisis de varianza para recuento de mohos y levaduras en jugo de granada irradiado con luz UV-C durante el almacenamiento a 2 °C.....	39
Cuadro 9. Prueba de Tukey para recuento de mohos y levaduras en jugo de granada irradiado con luz UV-C durante el almacenamiento a 2 °C.....	40

Cuadro 10. Prueba de Wilcoxon para aceptabilidad general del jugo de granada irradiado.....	41
---	----

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquema experimental	20
Figura 2. Diagrama de flujo para la elaboración de jugo de granada irradiado con UV-C	22
Figura 3. Esquema del reactor UV-C.....	24
Figura 4. Cartilla de evaluación de la aceptabilidad general de jugo de granada irradiado con UV-C.....	27
Figura 5. Contenido de antocianinas en jugo de granada en función a la dosis de irradiación y tiempo de almacenamiento.....	33
Figura 6. Recuento de mohos y levaduras en jugo de granada irradiado con UV-C y almacenado a temperatura de refrigeración (2 °C) durante 14 días.....	38

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo I. Resultados de la pruebas fisicoquímicas, contenido de antocianinas y recuento de mohos y levaduras.....	51
Anexo II. Resultados de la prueba de aceptabilidad general.....	52
Anexo III. Galería de fotografías.....	53

RESUMEN

Se evaluó el efecto de la dosis (18 y 36 kJ/L) de irradiación de UV-C y tiempo de almacenamiento a 2 °C, en el pH, contenido de sólidos solubles, contenido de antocianinas, recuento de mohos y levaduras y aceptabilidad general en jugo de granada variedad Wonderful, procedente de la provincia de Virú, Región La Libertad. Los frutos fueron lavados, desinfectados con agua clorada 100 ppm y los arilos separados manualmente. El jugo fue extraído en una pulpeadora con malla 0.5 mm. Posteriormente el jugo fue almacenado a 5 °C durante 30 min para lograr la sedimentación de los sólidos suspendidos. El tratamiento de irradiación con UV-C se realizó en un reactor que consta de una lámpara UV-C de mercurio de baja presión (Philips TUV-G16, 16 W), cubierta por una funda de cuarzo e instalada concéntricamente en una carcasa de acero inoxidable. El jugo tratado fue envasado y almacenado a 2 °C durante 14 días. Se determinó efecto significativo de la dosis de irradiación con UV-C y el tiempo de almacenamiento sobre el contenido de antocianinas y recuento de mohos y levaduras en jugo de granada almacenado a 2 °C, pero no en el pH y contenido de sólidos solubles. La prueba preferencia pareada mostró diferencia significativa entre los tratamientos sólo en el día 14 de almacenamiento refrigerado. La muestra de jugo de granada irradiado con dosis de 18 kJ/L presentó mayor contenido de antocianinas, recuento de mohos y levaduras, dentro del límite permisible y mayor preferencia sensorial en el día 14 de almacenamiento refrigerado.

ABSTRACT

The effect of UV-C irradiation dosage (18 and 36 kJ/L) and storage time at 2 °C was measured on pH, dry matter content, anthocyanins, mold and yeast count and general acceptance in Grenade Juice, variety Wonderful, originated from the province of Viru, region La Libertad. The fruit was washed, disinfected with chlorinated water 100 ppm and the arils manually separated. The juice was extracted using a pulper with a 0.5 mm net. Then, the juice was stored at 5 °C for 30 min to achieve the sedimentation of the dry matter. The UV-C irradiation treatment was managed in a reactor with a low pressure UV-C mercury lamp (Phillips TUV-G16, 16W), covered with a quartz cover and installed concentrically in a stainless steel case. The juice was packed and stored at 2 °C for 14 days. A significant effect for the UV-C irradiation dose and storage time was determined over the content of anthocyanins and mold and yeast count in Grenade juice stored at 2 °C. On the other hand, there was no significant effect for the pH or the dry matter content. Paired preference test showed significant difference of the irradiated Grenade juice only at the 14th day of cold storage. The Grenade juice irradiated with doses of 18 kJ/L had a higher content of anthocyanins, yeast and mold count within the permissible limit and higher sensory preference at the 14th day of cold storage.

I. INTRODUCCIÓN

La granada (*Punica granatum* L.) pertenece a la familia Punicacea y es uno de los frutos comestibles más antiguos que se conocen. Se consume fresca o procesada como zumo o jugo, jarabe, mermeladas o vino (Orak, 2009).

En la actualidad existe un gran interés en el jugo de granada debido a su alto contenido de compuestos fenólicos (catequinas, taninos y antocianinas). Las antocianinas, responsables del color rojo brillante del jugo es uno de las principales características de calidad que afecta la aceptabilidad sensorial del consumidor (Alighourchi y Barzegar, 2009; Borochoy-Neori y otros, 2009; Patras y otros, 2010). Antocianinas y otros compuestos fenólicos del jugo de granada presentan efectos preventivos y terapéuticos sobre la enfermedad cardiovascular, inflamación y diferentes tipos de cáncer (Khan, 2009; Lansky y Newman, 2007) basado en su elevada actividad antioxidante (Borochoy-Neoriy otros, 2009). Gil y otros (2000) reportaron una actividad antioxidante del jugo de granada tres veces mayor que la de vino tinto y el té verde.

En general, el tratamiento térmico es la técnica más comúnmente aplicada para la seguridad y conservación de jugos de frutas. Sin embargo, la frescura de jugo es desfavorablemente afectada por el tratamiento térmico. Recientemente existe un considerable interés en tecnologías no térmicas para la preservación de los jugos debido a la creciente demanda de los consumidores por productos frescos, de alta calidad y nutritivos (Patil y otros, 2009). Una de las tecnologías no térmicas empleados para la conservación de jugos es la irradiación UV-C, que en el intervalo de 200-280 nm presenta efecto germicida sobre microorganismos (bacterias, levaduras, mohos y virus) (Koutchma, 2009). En los últimos años, tanto la industria de alimentos y bebidas como los productores de equipos UV, han puesto gran interés por este

campo. Los efectos letales de la irradiación UV-C y su efectividad en la desinfección son bien conocidos, sin embargo en el campo de los alimentos se está investigando (López-Malo y Palou, 2005). El tratamiento para jugos de frutas con UV-C es una alternativa interesante de conservación porque genera una reducción microbiana importante sin ningún cambio significativo en la calidad del producto (López-Malo y Palou, 2005). No existen restricciones legales para su aplicación por lo que constituye una excelente alternativa para extender la vida útil de los alimentos. Presenta la ventaja que no se forman productos químicos tóxicos, ni promueve la formación de subproductos mutagénicos y carcinógenos y retiene sus propiedades nutricionales (La Cava y Sgroppo, 2015).

La eficacia de la inactivación de la irradiación UV-C depende del tipo de fluido a tratar y sus características. La capacidad de penetración de la luz UV-C es probablemente el factor más importante. De hecho el mayor inconveniente de la desinfección con luz ultravioleta es su baja penetración, ya que para la inactivación de microorganismos estos tienen que ser directamente expuestos a la irradiación (Gutiérrez, 2010). Por lo que suspensiones de microorganismos muy densas y las altas concentraciones de solutos reducen la penetración de los rayos UV-C y su efecto germicida (López, 2003). Además, la presencia de sustancias sólidas, como el polvo o la fibra, protegen a los microorganismos de la inactivación.

Los jugos frescos de frutas son bebidas populares en el mercado, debido a que son saludables y nutritivos. Es por esto que se espera que las técnicas de procesamiento empleadas conserven sus propiedades físicas, químicas y nutricionales. Recientemente, se ha incrementado el interés por la aplicación de la radiación UV-C en jugos de frutas por ser un proceso no térmico capaz de preservar las características del producto fresco y alargar su vida útil. Diversos estudios han demostrado

un efecto insignificante de la radiación UV-C en el color de los jugos de frutas, además de un resultado satisfactorio en sus atributos sensoriales y en la composición de nutrientes. Esta tecnología no térmica, presenta como criterio científico para la pasteurización de zumos, cinco reducciones logarítmicas de la carga microbiana patógena (López-Díaz y otros, 2012). Más de cinco reducciones logarítmicas de *E. coli* como un microorganismo de referencia se informó para jugo de manzana tratado con UV-C (Franz y otros, 2009; Keyser y otros, 2008). Además, tres reducciones logarítmicas de la flora natural en jugo de naranja tratado con UV-C fueron reportados por Keyser y otros (2008) y Tran y Farid (2004). Por otra parte, una tecnología no térmica debe asegurar la calidad microbiana junto con la calidad nutricional y sensorial del jugo.

Por lo anterior, los tratamientos con irradiación UV-C aplicados a jugos de frutas representan una alternativa interesante para su conservación, por lo que se planteó el siguiente problema:

¿Cuál será el efecto de la dosis de irradiación UV-C (18 y 36 kJ/L) y tiempo de almacenamiento (0, 7 y 14 días) sobre el contenido de sólidos solubles, pH, el contenido de antocianinas, recuento de mohos y levaduras y la aceptabilidad general en jugo de granada (*Punica granatum* L.) variedad Wonderful?

Y los objetivos:

Evaluar el efecto la dosis de irradiación UV-C (18 y 36 kJ/L) y tiempo de almacenamiento (0, 7 y 14 días) sobre el contenido de sólidos solubles, pH, contenido de antocianinas, recuento de mohos y levaduras y la aceptabilidad general en jugo de granada (*Punica granatum* L.) variedad Wonderful almacenado a 2 °C.

Determinar la dosis de irradiación UV-C que permita obtener jugo de granada con los mejores valores de pH, sólidos solubles, contenido de antocianinas, recuento mohos y levaduras y la mayor aceptabilidad general en el día 14 de almacenamiento a 2 °C.

II. REVISION DE BIBLIOGRAFÍA

2.1. Granada

2.1.1. Descripción

La granada pertenece a la familia *Punicaceae*, representada por un solo género y dos especies, *Punica granatum* y *Punica protopunica*; la primera es comestible (Jurenka, 2008).

Según Weusthuis (2009), la clasificación taxonómica de la granada es la siguiente:

Reino	: Plantae
Filum	: Magnoliophyta
Clase	: Magnoliopsida
Orden	: Myrtales
Familia	: <i>Punicaceae</i>
Género	: <i>Punica</i>
Especie	: <i>Punica granatum</i>

La granada es un fruto no-climatérico, considerado una balausta. Este es esférico y de piel gruesa, de 7-15 cm de diámetro, de color rojo a rosado externamente y con numerosas microfisuras epidermales. Corresponde a un tipo de fruto que se desarrolla a partir de un ovario ínfero, es de consistencia carnosa y está coronado en el ápice por el cáliz, que es persistente. El interior del fruto está separado por paredes membranosas, formadas por un tejido blanco, esponjoso y amargo, que encierran los compartimientos donde se encuentran las semillas. Las semillas están compuestas de un tegumento externo o arilo, que corresponde a la porción jugosa y comestible del fruto y un tegumento interno o endopleura, denominado piñón. Los cotiledones son de consistencia dura y se enrollan en forma de espiral (Jurenka, 2008).

El uso tradicional de la granada son el fruto fresco y los arilos, pero hoy existe una industria emergente que ha permitido su ingreso al mercado como alimento (jugos, ingrediente en yogurt, mermeladas, jaleas, alimentos para niños, bebidas fermentadas), ingrediente en productos cosméticos y productos para la salud (Tehranifar y otros, 2010).

2.1.2. Composición y valor nutricional de la granada

Gran parte de la importancia organoléptica y posible papel beneficioso para la salud de la granada se debe a la presencia de compuestos fenólicos. A nivel organoléptico, las antocianinas son los responsables de su atractivo color rojo y los taninos de su sabor astringente (los ácidos cítrico y málico son los responsables de su sabor ácido), en tanto que el ácido elágico y, en menor proporción, las antocianinas le confieren propiedades antioxidantes (García-Viguera y Pérez, 2004).

La granada es rica en otros constituyentes nutricionales. Mayoritariamente, está compuesta por agua y azúcares, siendo menor su contenido en grasas y proteínas, lo que le confiere su bajo valor calórico (75 kcal/100 g). Presenta también, una pequeña proporción de fibra alimentaria, localizada fundamentalmente en el piñón (3.1 g/100 g), es rica en potasio y aporta cantidades considerables de calcio, magnesio, fósforo y hierro, es pobre en sodio. Contiene además, vitaminas del grupo B y C, en concentraciones similares a otras frutas como ciruelas o manzanas (García-Viguera y Pérez, 2004).

2.1.3. Compuestos bioactivos en granada

En la granada, los fenoles totales se encuentran en una concentración de 83 mg/100 mL. Dentro de esta fracción fenólica los compuestos mayoritarios pertenecen al grupo de las antocianinas (flavonoides coloreados), derivados del ácido elágico y otros taninos hidrolizables (García-Viguera y Pérez, 2004).

Dentro del grupo de los compuestos fenólicos coloreados, la granada se caracteriza por la presencia de 6 antocianinas, derivadas de la delfinidina, cianidina y pelargonidina (García-Viguera y Pérez, 2004). La concentración de derivados de cianidina es mayor que 60%, otorgando en total una alta concentración de estos flavonoides (alrededor de 13.3 mg/100 g de porción comestible o 40 mg/100 mL de zumo) (García-Viguera y Pérez, 2004).

2.2. Usos de la granada

En diversas partes del mundo, incluyendo los países de origen y de mayor producción, además de destinar la producción de granada a la comercialización como producto fresco y jugo, se le dan usos en la herbolaria tradicional. Sus aplicaciones en medicina tradicional incluyen el uso de la corteza del árbol, hojas, flores y fruto, considerando de este último el jugo, las semillas y la cáscara. En Turquía se consume como jugo, pero tiene otro tipo de aplicaciones importantes como la fabricación de ácido cítrico, conservas, alimentación animal, entre otras. Un uso que se da al jugo en diversas partes del mundo es la elaboración de la bebida denominada granadina, refresco consumido solo o mezclado con otras bebidas. En la India, además de su aplicación en herbolaria tradicional, se le da uso como dentífrico y en tinción de telas. Se aplica también en la fabricación de citrato de sodio y ácido cítrico, en la elaboración de bebidas refrescantes carbonatadas y no carbonatadas, vino y jarabe. En México, generalmente este fruto se consume fresco y se usa en la elaboración de postres (López-Mejía y otros, 2010).

2.3. Jugos

Por jugo (zumo) de fruta se entiende el líquido sin fermentar, pero fermentable, que se obtiene de la parte comestible de frutas en buen estado, debidamente maduras y frescas o frutas que se han mantenido en buen estado por procedimientos adecuados, inclusive por tratamientos de superficie aplicados después de la cosecha de conformidad con las

disposiciones pertinentes de la Comisión del Codex Alimentario (Codex Alimentario, 2005).

Algunos jugos se elaboran junto con sus pepitas, semillas y cáscara, que normalmente no se incorporan al jugo, aunque son aceptables algunas partes o componentes de pepitas, semillas y cáscara que no puedan eliminarse mediante las buenas prácticas de fabricación (BPF) y se preparan mediante procedimientos adecuados que mantienen las características físicas, químicas, organolépticas y nutricionales esenciales de los jugos de la fruta de que proceden (Codex Alimentario, 2005).

Podrán ser turbios o claros y podrán contener componentes restablecidos de sustancias aromáticas y aromatizantes volátiles, elementos todos ellos que deberán obtenerse por procedimientos físicos adecuados y que deberán proceder del mismo tipo de fruta. Podrán añadirse pulpa y células obtenidas por procedimientos físicos adecuados del mismo tipo de fruta (Codex Alimentario, 2005).

2.4. Propiedades funcionales del jugo de granada

El jugo de granada es una bebida nutricionalmente importante ya que se consume con frecuencia por sus compuestos fenólicos (tales como antocianinas, ácido elágico, flavonoides y taninos fitoestrogenos). Se ha evaluado la actividad antioxidante de jugo de granada y su relación con la composición fenólica en un cultivar (Wonderful). También se ha cuantificado las antocianinas y ácido elágico por medio de cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) y se ha informado de los niveles de actividad antioxidante más altos para jugo de granada comercial en comparación con el vino tinto y el té verde (Mousavinejad y otros, 2009).

2.5. Características microbiológicas de los jugos de frutas

Los microorganismos que se pueden encontrar en los jugos de fruta son: bacterias lácticas, mohos y levaduras (Ancasi y otros, 2006). Estos microorganismos, como consecuencia de su actividad metabólica alteran los jugos, reduciendo su vida útil. Los mohos que causan deterioro de estos productos toleran una alta presión osmótica, bajo pH y suelen crecer a temperaturas de refrigeración. Las levaduras no sólo pueden causar alteraciones sensoriales, sino que también producir gran cantidad de CO₂ durante la fermentación de monosacáridos como *Zygo saccharomyces bailii*. Algunas levaduras alteran el ambiente cambiando el pH o degradando los agentes antimicrobianos provenientes de ácidos orgánicos. Otras como *Saccharomyces cerevisiae* y *Z. bailii*, pueden crecer incluso a pH 2.8. Las especies de levaduras presentes con mayor frecuencia en jugos y bebidas sin alcohol contaminados son: *Brettanomyces bruxellensis*, *Candida tropicalis*, *Candida stellata*, *Debaryomyces hansenii*, *Pichia anómala*, *S. cerevisiae* (López-Díaz y otros, 2012).

2.6. Luz ultravioleta

2.6.1. Generalidades

La luz ultravioleta forma parte del espectro electromagnético, ocupa una amplia banda de longitudes de onda de la región no-ionizante, entre 200 nm y 400 nm. No existe un acuerdo universal para precisar los límites del espectro UV. Sin embargo, el límite superior es generalmente delimitado con referencia a la menor longitud de onda detectable por el ojo humano (aprox. 380 nm). La localización exacta del límite inferior presenta mayor dificultad, ya que no existe una clara división entre la radiación no ionizante, pero en este sentido, su ubicación es irrelevante, ya que longitudes de onda menores a 100 nm, comúnmente referidas como región UV de vacío, son frecuentemente absorbidas en presencia de aire y raramente se emplean para inactivar microorganismos. Para propósitos

prácticos el espectro de la luz ultravioleta puede dividirse en tres regiones, según el efecto que tiene en los seres vivos (Bintsis y otros, 2000):

- Luz ultravioleta de onda corta (UV-C) con longitudes de onda de 200 – 280 nm; llamado rango germicida, el cual es efectivo inactivando bacterias y virus. Se ha encontrado que la longitud de onda a 254 nm es la más germicida.
- Luz ultravioleta de onda media (UV-B) con longitudes de onda de 280 – 320 nm; la cual puede causar quemaduras en la piel.
- Luz ultravioleta de onda larga (UV-A) con longitudes de onda de 320 – 400 nm; la cual puede ocasionar daños menores en la piel.

Los tratamientos con UV-C tienen efectos directos en bacterias esporuladas, vegetativas, hongos y levaduras. Se ha demostrado recientemente que su aplicación es una efectiva técnica de desinfección superficial que reduce la carga microbiana presente en los vegetales. Suspensiones de microorganismos muy densas y las altas concentraciones de solutos reducen la penetración de los UV y su efecto germicida. Además, la presencia de sustancias sólidas, como el polvo o la fibra, protegen a los microorganismos de la inactivación. La penetración de la radiación ultravioleta en los zumos es muy baja respecto a la del agua debido a su alto contenido en sólidos en suspensión (López, 2003).

2.6.2. Mecanismo de acción de la irradiación UV-C

A excepción de las bacterias fotosintéticas, la mayoría de los microorganismos son susceptibles al daño por la radiación UV. El efecto destructivo de la irradiación UV sobre los microorganismos está en función de la longitud de onda. Como se mencionó anteriormente, la irradiación UV-C de longitud de onda a 254 nm, se absorbe en un nivel que es suficiente para la desinfección; esto se debe a que ocasiona cambios físicos en los electrones y el rompimiento de enlaces en el ácido desoxirribonucleico (ADN), inactivando así los procesos de crecimiento y reproducción microbiana. La alta capacidad del ADN de absorber la

radiación UV-C se debe a las bases nitrogenadas, tanto las purinas como las pirimidinas, siendo estas últimas las más sensibles, especialmente la timina. La timina es la única base que después de la exposición a la irradiación UVC sufre una reacción fotoquímica formando fuertes enlaces covalentes entre ellas (dímeros de timina) que alteran gravemente el material genético. Por lo tanto, cuando estos microorganismos se exponen a la irradiación UV de 254 nm, ésta atraviesa la pared celular, llega hasta el núcleo, y si encuentra una región del ADN con dos timinas adyacentes, una de las bases absorbe un fotón y se forma un dímero de alta energía. Estos dímeros impiden la replicación correcta del ADN, de forma que este método de desinfección se basa en la formación de suficientes parejas de dímeros para impedir la reproducción celular (López- Díaz y otros, 2012).

Estudios recientes han demostrado que la inactivación celular podría producirse debido a que la alteración del material genético pone en marcha señales que inducen la apoptosis celular. De esta manera, la irradiación UV-C es un método eficiente para desinfectar líquidos (López-Díaz y otros, 2012).

2.6.3. Caudal

La velocidad de circulación es uno de los factores que influye en la eficacia del tratamiento con UV-C, determinando el patrón de movimiento de un fluido, ya que a mayor caudal más turbulento será el flujo. En un reactor de flujo turbulento, aplicando siempre la misma dosis (se ajusta el tiempo de exposición), al aumentar el caudal conseguimos aumentar la eficacia de inactivación ya que asegura una mayor homogeneidad del tratamiento (López, 2003).

2.6.4. Dosis

Es el principal parámetro que interviene en la eficacia del tratamiento, está determinado por el tiempo de exposición a una tasa de fluencia constante

(depende del diseño del equipo), al aumentar la dosis recibida se incrementa la inactivación microbiana. A fin de lograr la inactivación microbiana, la exposición a la irradiación UV debe ser al menos 400 J / m^2 en toda la superficie del producto (López, 2003).

La irradiación emitida se mide en Watts (W) y la intensidad de la irradiación en W/m^2 . Para una desinfección eficaz es importante conocer la dosis de irradiación necesaria para reducir la carga del microorganismo, la cual es el producto entre la intensidad de la irradiación (I), expresada como energía por unidad de área y el tiempo de residencia o contacto con la luz UV (t) en segundos (López, 2003).

Según López (2003), la dosis (D) se mide en J/m^2 , como se muestra en la ecuación 1.

$$D = I t \quad (1)$$

Dónde:

D: Dosis del tratamiento expresada por (W / m^2) o (J / m^2) .

I: Intensidad fluencia de irradiación expresada W / m^2 .

t: Tiempo de tratamiento expresado en segundos.

La dosis es difícil de aplicar en situaciones en las que se podrían tener distintos espesores de película de los líquidos a tratar, por lo que un método alternativo es el de caracterizar la cantidad de irradiación UV por volumen de líquido.

Las ecuaciones 2 y 3 muestran el cálculo necesario dependiendo del tipo de operación:

Para operaciones por batch en donde el líquido es recirculado a través del reactor:

$$D = \frac{P \cdot t}{V} \quad (2)$$

Para operaciones de flujo continuo:

$$D = \frac{P}{Q} \quad (3)$$

Donde:

D= dosis (J/L)

P=potencia de la lámpara (W)

t= tiempo de tratamiento (s)

V= volumen a tratar (L)

Q= Caudal (L/s)

Esta forma de especificar la dosis UV-C en J/L es menos ambiguo que el de la energía por área de superficie cuando la profundidad de la película del líquido es variable. En función de la intensidad y longitud de onda, la irradiación UV 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 la modificación de las paredes celulares, síntesis de enzimas de defensa e incluso la muerte celular. De este modo, la irradiación UV-C puede incrementar el nivel de compuestos antioxidantes tales como ácido ascórbico, carotenoides y polifenoles, así como su capacidad antioxidante (López-Díaz y otros, 2012), atribuyéndose un efecto hormético a las bajas dosis de irradiación UV-C sobre los vegetales, siendo este efecto una respuesta adaptativa con características diferenciables por la relación dosis-respuesta, que es inducida por un proceso de acción directa o de sobre-estimulación a dosis bajas. Existen evidencias del efecto positivo del tratamiento con UV-C en aumentar las propiedades funcionales de los alimentos y la síntesis de compuestos que actúan con los mecanismos de defensa natural de los vegetales expuestos al estrés (Beltrán, 2010).

2.6.5. Irradiación UV-C en alimentos líquidos

La irradiación UV-C se utiliza para desinfectar agua, ya sea para ser comercializada como tal o en la industria de bebidas. Este tipo de

irradiación se aplica para desinfectar y aumentar la vida útil de jugos de frutas y verduras. Cabe destacar que el poder de penetración disminuye cuando se tratan líquidos que no son transparentes y/o tienen sólidos en suspensión. Los líquidos con una buena transmitancia de luz no presentan inconvenientes en el tratamiento con irradiación UV-C, la baja transmitancia está asociada a la concentración inicial de microorganismos, partículas en suspensión, color y composición del producto. Por ser un líquido transparente, el agua tienen el mayor índice de transmisividad (Domínguez y Parzanese, 2011).

Vale destacar que el poder germicida de la radiación disminuye al aumentar la distancia desde la fuente de luz. Por eso, el tiempo de exposición, la dosis y el perfil de flujo son esenciales para lograr la reducción microbiana necesaria (Domínguez y Parzanese, 2011).

Como ejemplo puede mencionarse que la penetración de luz UV-C en jugos es de aproximadamente 1 mm para obtener una absorción del 90%. En estos alimentos es muy importante asegurar un flujo turbulento a fin de lograr una mayor eficiencia de contacto de la irradiación (Domínguez y Parzanese, 2011).

Por otro lado, el tratamiento para jugos de frutas con UV-C es una alternativa interesante de conservación ya que genera una reducción microbiana importante sin ningún cambio significativo en la calidad del producto (López-Malo y Palou, 2005). No existen restricciones legales para su aplicación y los efectos positivos sobre la calidad de los frutos son claros, por lo que constituye una excelente alternativa para extender la vida útil de los alimentos (López-Malo y Palou, 2005).

El tratamiento de zumos con luz UV-C tiene la ventaja de que no se forman productos químicos tóxicos, ni promueve la formación de subproductos

mutagénicos y carcinógenos. No deja olores desagradables ni sabores extraños (Vasantha y Li, 2012).

La eficacia de la inactivación de la irradiación UV-C depende del tipo de fluido a tratar y sus características. La capacidad de penetración de la luz UV-C es probablemente el factor más importante. De hecho el mayor inconveniente de la desinfección con irradiación UV-C es su baja penetración, ya que para la inactivación de microorganismos, éstos tienen que ser directamente expuestos a la irradiación (Gutiérrez, 2010). Por lo que suspensiones de microorganismos muy densas y las altas concentraciones de solutos reducen la penetración de los UV y su efecto germicida (López, 2003).

Además, la presencia de sustancias sólidas, como el polvo o la fibra, protegen a los microorganismos de la inactivación. La penetración de la irradiación ultravioleta en los zumos es muy baja respecto a la del agua debido a su alto contenido en sólidos en suspensión. En el agua destilada, la irradiación se reduce al 40% a los 40 cm y en el agua marina el 30% a 10 cm. En los zumos, aproximadamente en 5 cm, variando en función de las características del zumo, la irradiación se reduce al 90 % (Vasantha y Li, 2012).

2.6.6. Efecto de la irradiación UV-C sobre los compuestos antioxidantes

Se han realizado numerosas investigaciones para evaluar el efecto de la irradiación UV-C sobre los compuestos antioxidantes. Althman y otros (2009) investigaron el efecto del tratamiento con UV-C sobre el contenido de fenoles totales, flavonoides y vitamina C en piña recién cortada, banana y guayaba. En promedio, las muestras recibieron una dosis de irradiación UV de 2.158 J/m^2 , reportaron que los fenoles totales y contenido de flavonoides de guayaba y plátano aumentó significativamente con el aumento del tiempo de tratamiento ($p < 0.05$).

En la piña, el aumento en el contenido de fenoles totales no fue significativo ($p > 0.05$), pero el contenido de flavonoides aumentó significativamente después de 10 min de tratamiento. Por el contrario el tratamiento UV-C disminuyó el contenido de vitamina C. Un estudio independiente realizado por López-Rubira y otros (2005) demostraron cambios insignificantes en antocianinas y la actividad antioxidante de los arilos de granada después de la exposición a los rayos UV-C (0.56 a 13.62 kJ/m²). Mangos precortados UV-C irradiados durante 0, 10, 20, y 30 min, mostraron un aumento en el contenido de compuestos fenólicos y flavonoides con el incremento del tiempo de tratamiento, mientras que los contenidos de β -caroteno y ácido ascórbico disminuyeron (González-Aguilar y otros, 2007).

La irradiación con UV de los tejidos vegetales ha demostrado tener interacciones positivas, lo que se traduce en un aumento en las enzimas responsables de la biosíntesis de flavonoides, afectando metabolitos fenólicos aparte de la inducción del estrés abiótico. Es bastante evidente que, aparte de la aplicación de UV para la seguridad microbiana a niveles industriales, esta nueva tecnología tiene cierto potencial en la mejora de la promoción de la salud compuestos con algunas excepciones (Rawson y otros, 2011).

2.7. Evaluación sensorial

El análisis sensorial de los alimentos se lleva a cabo de acuerdo al caso con diferentes pruebas, según la finalidad para la que se efectúe. Hay dos categorías principales de pruebas sensoriales para consumidores: pruebas de diferencia y pruebas de aceptación/preferencia. Las pruebas orientadas al consumidor incluyen las pruebas de preferencia, pruebas de aceptabilidad y pruebas hedónicas. Estas pruebas se consideran pruebas del consumidor, ya que se llevan a cabo con paneles de consumidores no entrenados. Aunque a los panelistas se les puede pedir que indiquen

directamente su satisfacción, preferencia o aceptación de un producto, a menudo se emplean pruebas hedónicas para medir indirectamente el grado de preferencia o aceptabilidad (Ureña y otros, 2000).

En la prueba de preferencia pareada, se pregunta a los panelistas cuál de las dos muestras codificadas prefieren. Se les pide que seleccionen una, incluso si ambas muestras les parecen idénticas. Las dos muestras (A y B) se presentan en recipientes idénticos, codificados con números aleatorios de 3 dígitos. Existen dos posibles órdenes de presentación de las muestras: primero A y luego B (AB) o primero B y luego A (BA). Las muestras deben presentarse en ambos órdenes el mismo número de veces. Si el panel estuviera integrado por 20 jueces, 10 deberían recibir la muestra A primero y los otros 10 la muestra B primero. Con paneles muy numerosos, el orden de cada panelista puede seleccionarse al azar. Las muestras se presentan simultáneamente en el orden seleccionado para cada panelista, de manera que los panelistas puedan evaluar las muestras de izquierda a derecha. En esta prueba se permite saborear (probar) la muestra varias veces, si es necesario. El orden en que los panelistas evaluarán las muestras debe indicarse en la boleta. Los resultados se analizan utilizando una prueba binomial de dos extremos (Ureña y otros, 2000).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

Este proyecto se realizó en el Laboratorio de Tecnología de Alimentos de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Privada Antenor Orrego.

3.2. Materiales, reactivos, instrumentos y equipos

3.2.1. Material prima

Frutos de granada variedad Wonderful, procedentes de la provincia de Virú, departamento de La Libertad.

3.2.2. Instrumentos

- Balanza analítica. Marca Mettler Toledo. Capacidad 0-210 g, sensibilidad aprox. 0.0001 g.
- Refractómetro. Marca Atago, rango: 0-32 °Brix, $\pm 0,2\%$, calibrado a 20 °C.
- pHmetro. Marca Mettler Toledo. Rango de 0-14, sensibilidad aprox. 0.01.

3.2.3. Equipos

- Equipo de irradiación UV-C con lámpara de mercurio de baja presión (Philips TUV-G16, 16 W, longitud de onda 254 nm) cubierta por una funda de cuarzo e instalada concéntricamente en una carcasa acero inoxidable.
- Refrigeradora Marca Bosh. Modelo Frost 44. Rango 0 a 8 °C. Precisión ± 2 °C.
- Espectrofotómetro de UV- Visible. Marca Spectronic.
- Pulpeadora con tamiz de abertura de malla 0.5 mm.

3.2.4. Reactivos

- Solución de NaOH 0.1 N
- Solución alcohólica de fenolftaleína
- Buffer pH 1
- Buffer pH 4.5
- Agar cloramfenicol - dextrosa- extracto de levadura.
- Solución de cloramfenicol al 0,1%.
- Agua de dilución: Solución de agua peptonada al 0.1%.
- Reactivos tinción de gram o reactivos para tinción simple.

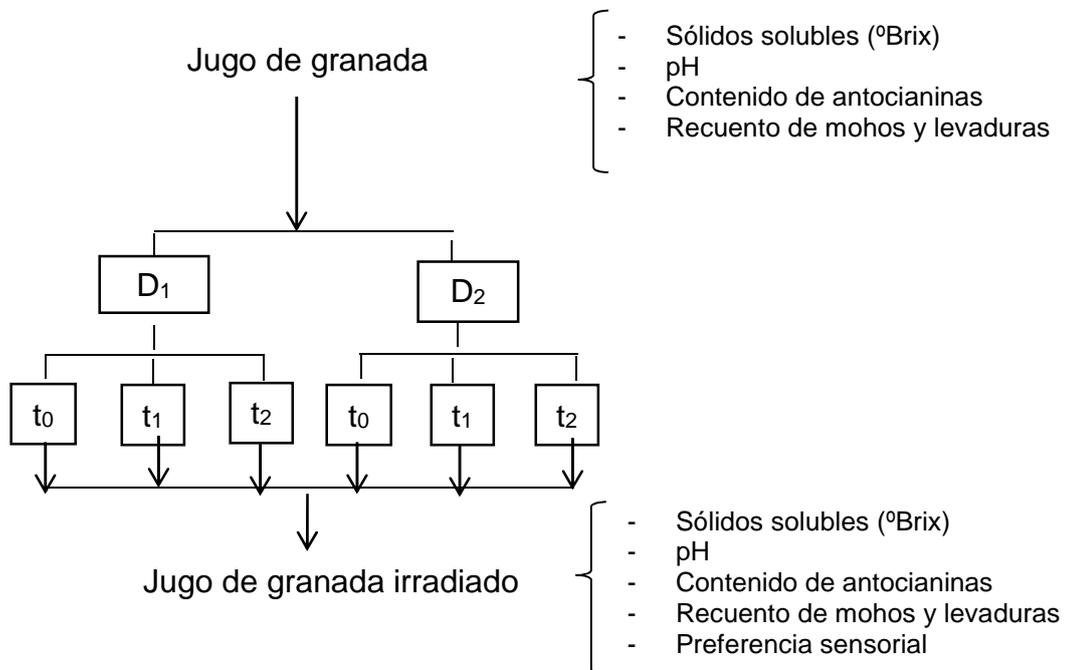
3.2.5. Otros

- Tubos de prueba
- Placas de Petri
- Pipetas bacteriológicas de 1 mL
- Envases de vidrio de 0.5 L
- Vasos de precipitado 250 mL
- Celdas de cuarzo para UV- visible de 1 cm de paso

3.3. Metodología experimental

3.3.1. Esquema experimental

En la presente investigación se empleó un diseño factorial de 2x3 con tres repeticiones. En la Figura 1, se presenta el esquema experimental para evaluar el efecto la dosis UV-C y tiempo de almacenamiento, en el pH, contenido de sólidos solubles, contenido de antocianinas, recuento de mohos y levaduras y aceptabilidad general en jugo de granada variedad Wonderful.

**Leyenda:**

- D₁: Dosis de UV-C de 18 kJ/L
- D₂: Dosis de UV-C de 36 kJ/L
- t₀: inmediatamente después de aplicación de dosis de irradiación
- t₁: tiempo de almacenamiento 7 días
- t₂: tiempo de almacenamiento 14 días

Figura 1. Esquema experimental sobre la aplicación de dosis de irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento en jugo de granada variedad Wonderful.

3.3.2. Diagrama de flujo del proceso experimental

En la Figura 2, se presenta las operaciones para la elaboración de jugo de granada irradiado (Pala y Toklucu, 2011).

A continuación se explica cada una de las operaciones.

Selección y clasificación

Se seleccionaron granadas sanas y exentas de podredumbre o deterioro, libre de plagas que afecten al aspecto general del producto. Se clasificaron los frutos con peso entre 400-450 g y color de cáscara 100% roja.

Lavado

Las granadas fueron lavadas por aspersion con agua potable a fin de eliminar la tierra y material extraño adherido.

Desinfección

Las granadas fueron sumergidas en una solución de hipoclorito de sodio a 100 ppm durante 5 min y secaron a temperatura ambiente.

Pelado

La granada se peló manualmente, con la finalidad de retirar la cáscara y evitar el deterioro de los arilos.

Desgranado

De manera manual, se desgranaron los arilos, evitando que se revienten, para obtener un mayor rendimiento en jugo.

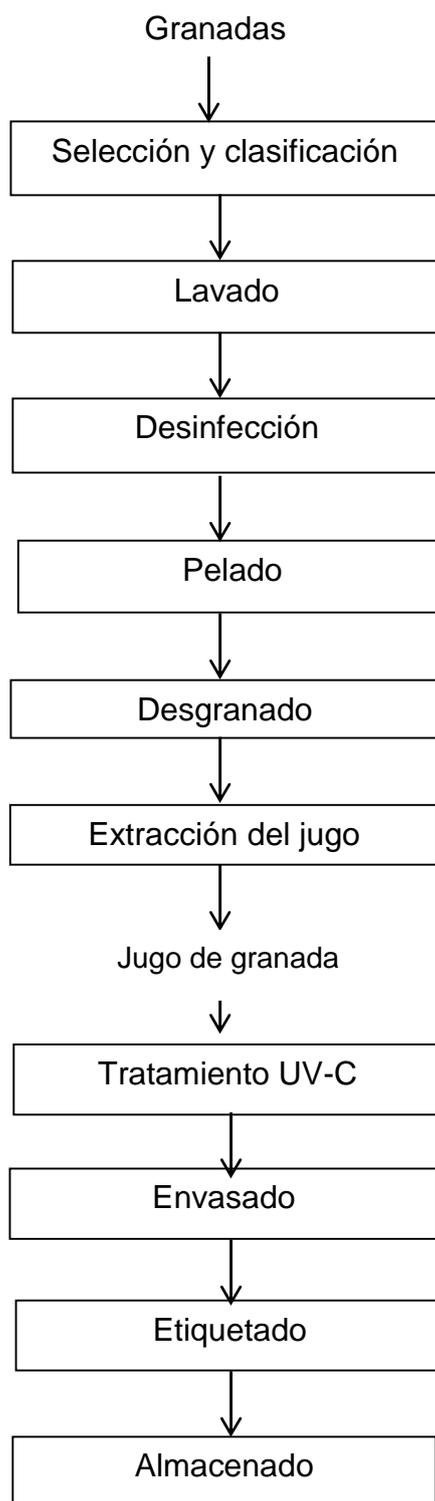


Figura 2. Diagrama de flujo para la elaboración de jugo de granada irradiado con UV-C.

Extracción de jugo

Se utilizó una pulpeadora con tamiz 0.5 mm. Posteriormente el jugo se almacenó a 5 °C durante 30 min para lograr la sedimentación de los sólidos suspendidos.

Tratamiento UV-C

Se trabajó con un reactor (Figura 3) con lámpara UV-C de mercurio de baja presión (Philips TUV-G16, 16 W), cubierta por una funda de cuarzo e instalada concéntricamente en una carcasa de acero inoxidable. El líquido fue bombeado desde un depósito con la ayuda de una bomba centrífuga (0.067 L/s) y recirculó entre la carcasa y la funda de cuarzo durante los tiempos establecidos para cada dosis. El ingreso tangencial del reactor creó la turbulencia necesaria para un mejor contacto entre el jugo y la irradiación UV-C (Ochoa y Gerrero, 2012).

Las dosis establecidas se calcularon en función al tiempo de tratamiento:

$$D_1 = \frac{t_1 * P}{V} = \frac{2250 \text{ s} * 16 \text{ W}}{2 \text{ L} * 1000} = 18 \text{ kJ/L}$$

$$D_2 = \frac{t_2 * P}{V} = \frac{4500 \text{ s} * 16 \text{ W}}{2 \text{ L} * 1000} = 36 \text{ kJ/L}$$

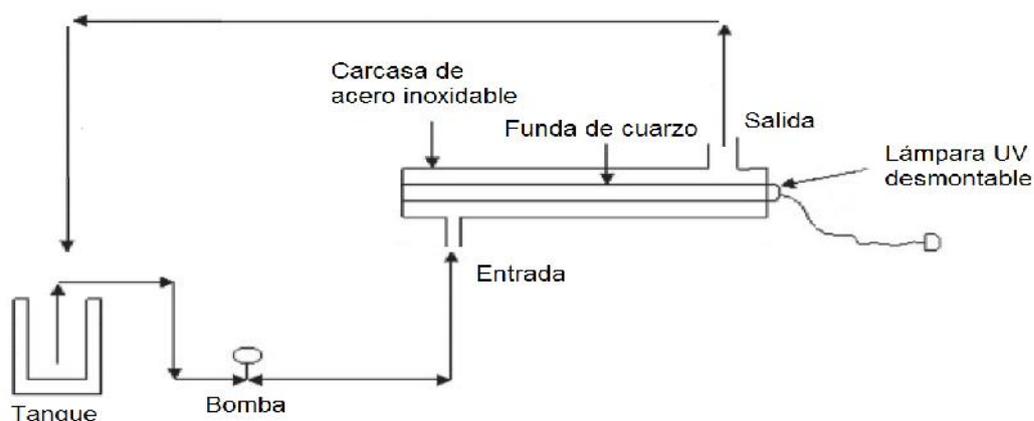


Figura 3. Esquema del reactor UV-C

Envasado

El jugo irradiado se colocó en botellas de vidrio de 500 mL, previamente desinfectadas con una solución de hipoclorito de sodio a 200 ppm (FAO, 2006).

Etiquetado

Se colocó etiquetas para identificar y diferenciar los tratamientos.

Almacenado

El jugo de granada envasado fue almacenado a $2\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ para ser evaluado los días 0, 7 y 14 días (pH, sólidos solubles, contenido de antocianinas, recuento de mohos y levaduras y aceptabilidad general).

3.3.3. Métodos de análisis

3.3.3.1. Análisis fisicoquímico

Determinación de sólidos solubles. Se determinó mediante método refractométrico (AOAC, 1997).

Determinación de acidez. Se realizó mediante el método volumétrico con titulación NaOH 0.1N y se expresó como porcentaje de ácido cítrico (AOAC, 1997).

Determinación del pH. Se determinó mediante método potenciométrico (Pala y Toklucu, 2011).

3.3.3.2. Contenido de antocianinas

Se realizó con el método de pH diferencial propuesto por Kuskoski y otros (2005).

Se colocó 10 mL de muestra en 40 mL de etanol acidificado con HCl hasta pH 2, bajo agitación magnética en sombra durante 2 h. Luego fueron centrifugados a 4200 rpm por 15 min y separados los sobrenadantes.

Se utilizó 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 muestra líquida (para conseguir una absorbancia en el rango de 0.1-1.2 a 515 nm). Se añadió 1.8 mL de la correspondiente solución tampón y se midió la absorbancia en un espectrofotómetro UV-VIS frente a un blanco a 515 y 700 nm. Se calculó la absorbancia final a partir de la ecuación 4.

$$A = (A_{515 \text{ nm}} - A_{700 \text{ nm}})_{\text{pH } 1} - (A_{515 \text{ nm}} - A_{700 \text{ nm}})_{\text{pH } 4.5} \quad (4)$$

La concentración de antocianinas totales (AT) en el extracto se expresó en cianidina 3-glucósido, mediante la ecuación 5.

$$AT = \frac{A * PM * FD * 100}{\epsilon} \quad (5)$$

Dónde:

AT: Antocianinas totales

A: Absorbancia

PM: Peso molecular cianidina 3-glucósido

FD: Factor de dilución

: Absortividad molar cianidina 3-glucósido

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

3.3.3.3. Recuento de mohos y levaduras

Se pesó 10 g de jugo y se homogenizó en 90 mL de agua peptonada al 0.1%. Se realizaron diluciones en 9 mL agua peptonada con 1 mL de alícuota y se extendió en la superficie del medio de cultivo selectivo. El recuento de mohos y levaduras se realizó en Agar Saboraud + cloranfenicol, seguido de una incubación a 21 °C por 48 h. Los resultados fueron reportados en ufc/g (FDA, 2001).

3.3.3.4. Evaluación sensorial

Las muestras de jugo de granada se sometieron a prueba de preferencia pareada. El análisis fue realizado por 30 panelistas no entrenados. En cada sesión se sirvieron 15 mL de muestra en vasos de plásticos descartables a una temperatura de 6 °C y fueron presentadas a cada panelista, utilizando una disposición de números aleatorios. En esta prueba se les preguntó a los panelistas cuál de las dos muestras codificadas prefieren y proporcionando a los panelistas un vaso con agua entre cada evaluación (Martínez, 2010).

En la Figura 4, se muestra la cartilla de evaluación sensorial empleada en el presente trabajo de investigación.

Nombre : _____	Fecha: _____
Código de panelista: _____	Día: _____
Nombre del producto: Jugo de granada	
Instrucciones: Pruebe las dos muestras de jugo de granada, empezando por la muestra de la izquierda. Haga un círculo en el número de la muestra que prefiere.	
631	228
Comentarios :	

Figura 4. Cartilla de evaluación sensorial de jugo de granada irradiado con UV-C.

3.3.4. Análisis estadístico

El diseño estadístico correspondió a un arreglo factorial 2*3 con 3 repeticiones. A los resultados de las características fisicoquímicas (pH, sólidos solubles, contenido de antocianinas) y recuento de mohos y levaduras se aplicó la Prueba de Levene para determinar la homogeneidad de varianzas. Posteriormente, se aplicó un análisis de varianza y en caso de existir efecto significativo, la Prueba de Tukey, con un nivel de confianza del 95% (Montgomery, 2005). Se utilizó el programa SPSS para Windows, versión 22.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Caracterización del jugo de granada

Los sólidos solubles (14.3 ± 0.05) del jugo de granada se encontraron dentro del rango reportado por Tehranifar y otros (2010) (11.37-15.07 °Brix); Fadavi y otros (2005) (10-16.5 °Brix); Poyrazoglu y otros (2002) (16-19 °Brix), pero menores a los encontrados por Cam y otros (2009) (15.6-16.9 °Brix).

Los valores de pH observados (3.37 ± 0.1) se encontraron dentro del rango reportado por Tehranifar y otros (2010) (3.16-4.09); Cam y otros (2009) (2.82-3.85); Elfalleh y otros (2009) (2.64-4.54) para variedades cultivadas en Túnez.

4.2. Efecto de la irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento en las características fisicoquímicas de jugo de granada

Los valores de pH y sólidos solubles del jugo de granada irradiado con luz UV-C durante el almacenamiento se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Valores de pH y sólidos solubles de jugo de granada irradiado con luz UV-C durante el almacenamiento a 2 °C

Tiempo (Días)	Dosis kJ/L	pH	Sólidos solubles (°Brix)
0	18	3.35 ± 0.10^a	14.27 ± 0.21^a
	36	3.37 ± 0.02^a	14.47 ± 0.15^a
7	18	3.34 ± 0.05^a	14.27 ± 0.21^a
	36	3.36 ± 0.20^a	14.60 ± 0.01^a
14	18	3.37 ± 0.38^a	14.33 ± 0.21^a
	36	3.39 ± 0.13^a	14.30 ± 0.20^a

Letras iguales, valores sin diferencia significativa

Los valores de pH y contenido de sólidos solubles del jugo de granada presentaron valores similares para cada dosis aplicada durante los 14 días de almacenamiento. Estos resultados concuerdan con los reportados por Caminiti y otros (2012), quienes indican que tecnologías no térmicas tales como la irradiación UV-C pueden ofrecer ventajas para el procesamiento mínimo de bebidas transparentes. Trataron zumo de manzana reconstituido con luz UV-C en un sistema continuo a escala de laboratorio con dosis entre 2.66 a 53.10 J/cm², cambiando el tiempo de exposición y reportaron que los niveles de energía UV no afectaron el pH (3.7) y sólidos solubles (11.2 °Brix) del zumo.

La Cava y Sgroppo (2015) reportaron ningún cambio en el pH (3.0±0.2) y contenido de sólidos solubles (9.0±0.4) en zumo de pomelo irradiado con UV-con dosis de 3.94 J/cm² y almacenado durante 15 y 10 días a 4 y 10 °C, respectivamente.

Bhat y otros, (2011) reportaron valores similares para pH (4.39±0.2) y °Brix (9±0.13) para muestras de jugo de carambola irradiado con UV-C con dosis de 2.158 J/m² por 0, 30 y 60 min.

Kaya y otros (2015) reportaron valores de pH (3.92±0.1), similares para mezclas de jugo de limón y jugo de melón sin tratar y tratadas con UV-C con dosis de 2.46 kJ/L.

En el Cuadro 2, se muestra la prueba de Levene modificada para los valores de pH y sólidos solubles de jugo de granada irradiado con luz UV-C y almacenado durante 14 días a 2 °C observándose homogeneidad de varianzas ($p>0.05$) por tanto, se procedió a realizar el análisis de varianza.

Cuadro 2. Prueba de Levene modificada para valores de pH y sólidos solubles de jugo de granada irradiado con luz UV-C durante el almacenamiento a 2 °C

Variable	Estadístico de Levene	p
pH	1.470	0.271
Sólidos solubles (°Brix)	0.550	0.736

En el Cuadro 3, se observa el análisis de varianza para pH y sólidos solubles de jugo de granada irradiado con luz UV-C durante el almacenamiento a 2 °C., el cual muestra que la dosis de irradiación y el tiempo de almacenamiento no presentaron efecto significativo ($p > 0.05$) sobre las variables estudiadas. Estos resultados concuerdan con la investigación realizada por Pala y Toklucu (2011), quienes evaluaron el efecto de la irradiación UV C en jugo de granada en las características fisicoquímicas (pH y sólidos solubles), contenido de antocianinas, color polimérico, actividad antioxidante y contenido de fenoles totales. Los resultados se compararon con el control (sin tratar) y con muestras tratadas con calor (90 °C, 2 min) y reportaron que no existió diferencia significativa en el pH de las muestras de jugo tratadas con irradiación UV-C (3.35 ± 0.03 a 3.43 ± 0.03) y en los sólidos solubles (16.25 ± 0.43 a 15.88 ± 0.43).

La Cava y Sgroppo (2015) no encontraron diferencia significativa en los valores de pH y contenido de sólidos solubles en zumo de pomelo irradiado con dosis de UV-C de 3.94 J/cm^2 y almacenado durante 15 y 10 días a 4 y 10 °C, respectivamente.

Cuadro 3. Análisis de varianza para valores de pH y sólidos solubles de jugo de granada irradiado con luz UV-C y durante el almacenamiento a 2 °C.

Variable	Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	p
pH	Irradiación UV-C: R	0.013	1	0.013	0.471	0.506
	Tiempo: T	0.042	2	0.021	0.736	0.500
	R*T	0.039	2	0.019	0.685	0.523
	Error	0.340	12	0.028		
	Total	0.434	17			
Sólidos solubles (°Brix)	Irradiación UV-C: R	0.125	1	0.125	3.879	0.072
	Tiempo: T	0.041	2	0.021	0.638	0.545
	R*T	0.103	2	0.052	1.603	0.241
	Error	0.387	12	0.032		
	Total	0.656	17			

Bhat y otros, (2011) encontraron que la irradiación de jugo de carambola con UV-C con dosis de 2.158 J/m por 0, 30 y 60 min no afectó significativamente el pH (4.39 ± 0.2) y °Brix (9 ± 0.13) del jugo.

Kaya y otros (2015) reportaron que el tratamiento de irradiación UV-C de mezclas de jugo de limón y jugo de melón no afectó significativamente el pH (3.92 ± 0.2) de las muestras.

4.3. Contenido de antocianinas totales

El contenido de antocianinas totales en jugo de granada en función a la dosis de irradiación y tiempo de almacenamiento se presenta en la Figura 5, observándose una reducción de 13.65% y 21.46% después del tratamiento del jugo de granada con UV-C, y a los 14 días de almacenamiento una reducción de 40.27% y 43.81% para dosis de 18 y 36 kJ/L, respectivamente.

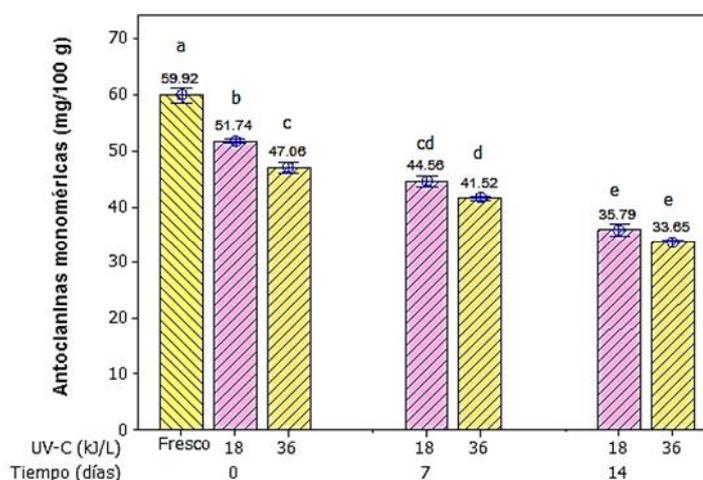


Figura 5. Contenido de antocianinas totales en jugo de granada en función a la dosis de irradiación y tiempo de almacenamiento.

López-Rubira y otros (2005) expuso arilos de granada mínimamente procesados a dosis de UV-C de 0.56 a 13.63 kJ/ m² y no reportaron cambios significativos en el contenido de antocianinas (178.63 ± 20.84 µmg/mL) inmediatamente después del tratamiento UV-C.

Pala y Toklucu (2011) informaron pérdida de antocianinas de 3,89% y 8,4% después del tratamiento UV-C con dosis de 37,41 kJ/L y 62,35 kJ/L, respectivamente, empleando un reactor UV (Gentra Stock Joint Company, Istanbul, Turkey) compuesto de un reflector de acero inoxidable, un tubo de teflón corrugado en espiral alrededor de la manga de cuarzo y 9 lámparas germicidas de 28 W de salida. Esta diferencia pudo deberse al

tipo de reactor utilizado en esta investigación, constituido sólo por una lámpara UV-C de 16 Watts, por lo que fue necesario mantener mayor tiempo de exposición para lograr el efecto deseado.

La exposición a largo plazo de la luz UV-C puede causar la foto degradación de antocianinas debido al efecto de decoloración de pigmentos (Guerrero-Beltrán y otros, 2009). Los fotones de la luz UV a 254 nm son absorbidos por moléculas orgánicas y afectan enlaces conjugados incluyendo enlaces disulfuro y por tanto, puede reducir el contenido de antocianinas (Koutchma y Parisi, 2004).

Rein (2005) menciona que existen varios factores que se deben tomar en cuenta para garantizar la estabilidad de las antocianinas: el mantenimiento de un pH bajo y estable, las bajas temperaturas de almacenamiento y el control de la luz y oxígeno. Entre esos factores, el contenido de oxígeno dentro del envase, pudo haber contribuido a que la degradación de las antocianinas fuera de 25.63% y 30.74% y de 40.27% y 43.81% para los tratamientos irradiados con 18 y 36 kJ/L, a los a los 7 y 14 días respectivamente, de almacenamiento refrigerado.

En el Cuadro 4, se muestra la prueba de Levene modificada para contenido de antocianinas de jugo de granada irradiado con luz UV-C y almacenado durante 14 días a 2 °C observándose homogeneidad de varianzas ($p > 0.05$) por lo tanto, se procedió a realizar en análisis de varianza para determinar diferencias significativas entre tratamientos.

Cuadro 4. Prueba de Levene modificada para contenido de antocianinas totales en jugo de granada irradiado con luz UV-C durante el almacenamiento a 2 °C

Variable	Estadístico de Levene	p
Antocianinas totales (mg/100 mL)	0.620	0.689

En el Cuadro 5, se observa el análisis de varianza para contenido de antocianinas totales en jugo de granada irradiado con luz UV-C durante el almacenamiento a 2 °C, el cual muestra que la dosis de irradiación y el tiempo de almacenamiento presentaron efecto significativo ($p < 0.05$) sobre el contenido de antocianinas.

Cuadro 5. Análisis de varianza para contenido de antocianinas totales en jugo de granada irradiado con luz UV-C durante el almacenamiento a 2 °C

Variable	Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	p
Antocianinas totales (mg/100 g)	Irradiación UV-C: R	48.53	1	48.53	28.53	0.000
	Tiempo: T	650.45	2	325.22	191.24	0.000
	R*T	4.95	2	2.47	1.45	0.272
	Error	20.40	12	1.70		
	Total	724.34	17			

En el Cuadro 6, se muestra la prueba de comparaciones múltiples de Tukey, donde se pudo apreciar que existió diferencia significativa entre los tratamientos denotado por la formación de subgrupos. De igual modo se observa efecto significativo de la dosis de irradiación solo en el día 0, y en los días 7 y 14 solo afectó significativamente el tiempo de almacenamiento.

Pala y Toklucu (2011) informaron pérdida de antocianinas de 3,89% y 8,4% después del tratamiento UV-C con dosis de 37.41 kJ/L y 62.35 kJ/L, indicando que el contenido, el total de antocianinas jugo de granada no cambió significativamente después del tratamiento con irradiación. Hasta donde se sabe, existe poca información sobre el efecto del tratamiento de irradiación con UV-C en el contenido de antocianina en jugo de granada.

Cuadro 6. Prueba de Tukey para contenido de antocianinas totales en jugo de granada irradiado con luz UV-C durante el almacenamiento a 2 °C

Tiempo de almacenamiento (días)	UV-C (kJ/L)	Subgrupo				
		1	2	3	4	5
14	36	33.65				
14	18	35.79				
7	36		41.52			
7	18		44.56	44.56		
0	36			47.06		
0	18				51.74	
Jugo sin irradiar	0					59.92

Lopez-Rubira y otros (2005) expuso arilos de granada mínimamente procesados a dosis de irradiación UV-C 0.56 a 13.63 kJ/m² y reportaron cambios significativos en el contenido de antocianina en arilos de granada.

4.4. Recuento de mohos y levaduras

Los cambios en el recuento de mohos y levaduras en jugo de granada almacenado a 2 °C durante 14 días se muestran en la Figura 6. El jugo de granada recién extraído presentó un recuento de mohos y levaduras 1000 ufc/mL (3 log ufc/mL) en el límite permisible de MINSA (2008), lográndose una reducción logarítmica inmediata de 0.7 (76.7%) y 1 (86.91%) para cada dosis aplicada.

Del mismo modo, Guerrero-Beltrán y otros (2009) aplicaron luz UV-C a jugos que contenían antocianinas inoculados con *Saccharomyces cerevisiae* ATCC 10274 y reportaron una reducción logarítmica de 0.53

para el recuento de levadura en el jugo de uva con color violeta profundo y reducción de 2.51 para jugo de arándano con color rojo-marrón

Pala y Toklucu (2011) encontraron que al aplicar la dosis de irradiación UV-C de 62.35 J/mL en el jugo de granada obtuvieron una reducción logarítmica de 1,45 log (74,4%) en el recuento de mohos y levaduras.

Pala y Toklucu (2013) reportaron que en el jugo de naranja obtuvieron 0.08 (3.1%) y 0.52 (20.2%) reducciones logarítmicas del recuento de mohos y levaduras en las dosis de 12.03 y 48.12 kJ/L respectivamente.

Keyser y otros (2008) reportaron reducción logarítmica de mohos y levaduras para muestras irradiadas con UV-C de 2.45, 2.8 y 0.72 en néctar de fresa, néctar de mango y jugo tropical, tratados con dosis de 2.06, 1.4 y 1.6 kJ /L, respectivamente.

López (2003) irradió jugo de sandía con dosis de UV-C de 9.4 y 37.5 kJ/L, reportando reducciones logarítmicas de 1.29, 1.0 en el recuentos de mohos y levaduras.

Después de 2 semanas de almacenamiento a 2 °C el conteo de mohos y levaduras en las muestras de jugo de granada irradiados se incrementó a 2.5 y 2.4 log ufc/mL detectándose el menor conteo microbiano con la dosis más alta aplicada.

De igual modo, López (2003) observó en jugo de sandía con dosis de UV-C de 2.7, 9.4 y 37.5 kJ/L, una ligera reactivación al día 7 y 14, posiblemente debido a una fotorreactivación y a la resistencia de los microorganismos, determinada principalmente por su capacidad para reparar el daño ocasionado al ADN (López-Díaz y otros, 2012).

Lorenzini y otros (2010) aplicaron dosis de 1.0 kJ/L a jugo de uva blanca (Moscato y Prosecco) y vino blanco (Soave), y dosis de 2.0 kJ/L a vinos tintos (Barolo, Syrah y Valpolicella) y reportaron que la tecnología aplicada fue eficaz para asegurar la estabilidad microbiológica y podría ejercer un

fuerte impacto en la industria de elaboración del vino mediante la eliminación o reducción del uso de SO₂ en un futuro próximo.

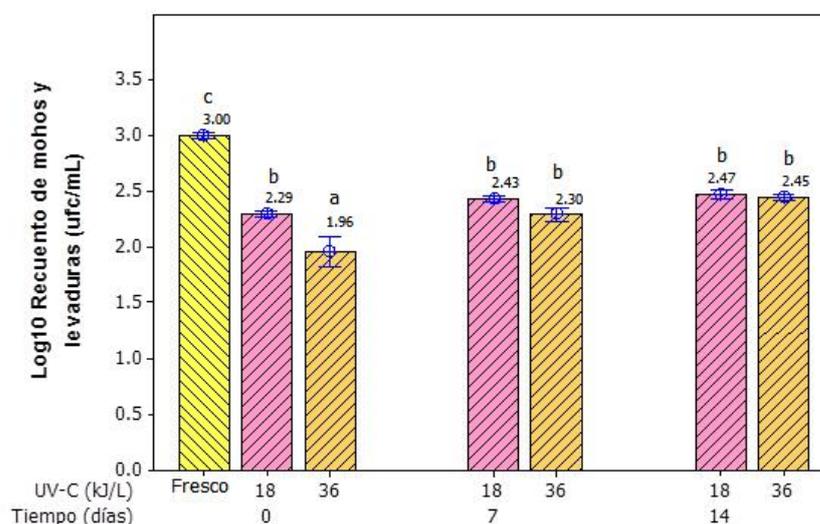


Figura 6. Recuento de mohos y levaduras en jugo de granada irradiado con UV-C durante el almacenamiento a 2 °C.

En el Cuadro 7, se muestra la prueba de Levene modificada para recuento de mohos y levaduras en jugo de granada irradiado con luz UV-C y almacenado durante 14 días a 2 °C, observándose homogeneidad de varianza ($p > 0.05$) por lo tanto, se procedió a realizar en análisis de varianza para determinar diferencias significativas entre tratamientos.

Cuadro 7. Prueba de Levene modificada para recuento de mohos y levaduras en jugo de granada irradiado con luz UV-C durante el almacenamiento a 2 °C

Variable	Estadístico de Levene	p
Log ₁₀ Recuento de mohos y levaduras (ufc/mL)	1.460	0.272

En el Cuadro 8, se observa el análisis de varianza para recuento de mohos y levaduras en jugo de granada irradiado con luz UV-C y almacenado durante 14 días a 2 °C, el cual muestra que la dosis de irradiación y el tiempo de almacenamiento presentaron efecto significativo ($p < 0.05$).

Cuadro 8. Análisis de varianza para recuento de mohos y levaduras (ufc/mL) en jugo de granada irradiado con luz UV-C durante el almacenamiento a 2 °C

Variable	Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	p
Log₁₀ Recuento de mohos y levaduras (ufc/mL)	Radiación UV-C: R	0.128	1	0.128	9.350	0.010
	Tiempo: T	0.345	2	0.172	12.565	0.001
	R*T	0.076	2	0.038	2.766	0.103
	Error	0.165	12	0.014		
	Total	0.714	17			

En el Cuadro 9, se muestra la prueba de Tukey para para recuento de mohos y levaduras en jugo de granada irradiado con luz UV-C y almacenado durante 14 días a 2 °C, el cual muestra que la dosis de irradiación y el tiempo de almacenamiento presentaron efecto significativo denotado por la formación de subgrupos, observándose que los tratamientos de irradiación con dosis de UV-C de 18 y 36 kJ/L se encontraron dentro del límite permisible por el MINSA (2008) en el día 14 de almacenamiento presentando menor recuento la dosis más alta aplicada.

Cuadro 9. Prueba de Tukey para recuento de mohos y levaduras (ufc/mL) en jugo de granada irradiado con luz UV-C durante el almacenamiento a 2 °C

Tiempo de almacenamiento (días)	UV-C (kJ/L)	Subgrupo		
		1	2	3
0	36	1.96		
0	18		2.29	
7	36		2.30	
7	18		2.43	
14	36		2.45	
14	18		2.47	
0	0			3.00

4.5. Preferencia sensorial

La prueba preferencia pareada para jugo de granada irradiado durante el almacenamiento a 2 °C se muestra en el Cuadro 10, observándose diferencia significativa entre los tratamientos.

El jugo de granada sin tratamiento de irradiación, después de 7 días de almacenamiento, presentó conteo microbiano superior al límite permisible (2×10^3), por lo que su evaluación sensorial no se llevó a cabo.

Cuadro 10. Prueba de Preferencia pareada de jugo de granada irradiado durante el almacenamiento a 2 °C

Tiempo de almacenamiento (días)	UV-C (kJ/L)	Preferencia	%	Chi-cuadrado	Grados de libertad	p
0	18	16	53.3	0.133	1	0.715
	36	14	46.7			
7	18	17	56.7	0.533	1	0.465
	36	13	43.3			
14	18	22	73.3	6.533	1	0.011
	36	8	26.7			

Se observa, que no existió diferencia significativa en las muestras de jugo de granada irradiado en el día 0 y 7 de almacenamiento, sin embargo, en el día 14, el 73.3% de los panelistas prefirieron la muestra de jugo de granada irradiado con 18 kJ/L. Estos resultados concuerdan con lo indicado por Lopez-Díaz y otros (2012), quienes señalan que la aplicación de irradiación UV-C en jugos de frutas, es una alternativa interesante para su conservación, dado que generan una importante reducción en la carga microbiana, sin ocasionar cambios sensoriales importantes.

De igual modo, Pala y Toklucu, (2013) no detectaron diferencias significativas en la evaluación sensorial de los jugos tratados y sin tratar con UV-C (dosis: 36.09 kJ/L), los cuales tuvieron mayor aceptabilidad que los tratados térmicamente (90 °C, 2 min).

V. CONCLUSIONES

Se determinó efecto significativo de la dosis de irradiación con UV-C y el tiempo de almacenamiento sobre el contenido de antocianinas y recuento de mohos y levaduras en jugo de granada almacenado a 2 °C, pero no en el pH y contenido de sólidos solubles. La prueba preferencia pareada mostró diferencia significativa entre los tratamientos sólo en el día 14 de almacenamiento refrigerado.

La muestra de jugo de granada irradiado con dosis de 18 kJ/L presentó mayor contenido de antocianinas, recuento de mohos y levaduras, dentro del límite permisible y mayor preferencia sensorial en el día 14 de almacenamiento refrigerado.

VI.RECOMENDACIONES

Emplear la tecnología de irradiación con UV-C en el tratamiento de conservación de jugos de fruta con bajo contenido de sólidos.

Implementar un sistema de cinco reactores en serie para disminuir el tiempo de aplicación y evitar degradación de antocianinas durante el tratamiento de irradiación con UV-C.

VII. BIBLIOGRAFÍA

Alighourchi, H., y Barzegar, M. 2009. Some physicochemical characteristics and degradation kinetic of anthocyanin of reconstituted pomegranate juice during storage. *Journal of Food Engineering*, 90:179-185.

Allothman, M., Bhat, R. y Karim, A. 2009. UV radiation-induced changes of antioxidant capacity of fresh-cut tropical fruits. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 10:512-516.

Ancasi, E., Carrillo, M. y Benítez, A. 2006. Mohos y levaduras en agua envasada y bebidas sin alcohol. *Revista Argentina de Microbiología*, 38:93-96.

AOAC. 1997. Official Methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemists International. 16^a Edition. Volume II, Maryland, USA.

Bhat, R., Ameran, S. B., Voon, H. CH., Karim, A., Tze, L. M. 2011. Quality attributes of starfruit (*Averrhoa carambola* L.) juice treated with ultraviolet radiation. *Food Chemistry*, 127:641-644.

Beltrán, A. 2010. Estudio de la vida útil de fresas (*Fragaria vesca*) mediante tratamiento con luz ultravioleta de onda corta UV-C. Tesis para optar el título de Ingeniero de Alimentos, Universidad Técnica de Ambato. Ambato, Ecuador.

Bintsis, T., Evanthia, T. y Richard, R. 2000. Existing and potential applications of ultraviolet light in the food industry. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80:637- 645.

Borochoy-Neori, H., Judeinstein, S., Tripler, E., Harari, M., Greenberg, A., Shomer, I., y Holland, D. 2009. Seasonal and cultivar variations in antioxidant and sensory quality of pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22:189-195.

Cam, M., Hisil, Y. y Durmaz, G. 2009. Characterization of Pomegranate Juices from ten cultivars grown in Turkey. *International Journal of Food Properties*, 12:388-395.

Caminiti, I., Palgan, I., Muñoz, A., Noci, F., Whyte, P., Morgan, D. y Lyng, J. 2012. The effect of ultraviolet light on microbial inactivation and quality attributes of apple juice. *Food and Bioprocess Technology*, 5:680-686.

Codex Alimentario. 2005. Norma general del codex para zumos (jugos) y néctares de frutas.

Domínguez, L. y Parzanese, M. 2011. Luz ultravioleta en la conservación de alimentos. *Revista Alimentos Argentinos*, 5:71-76.

Elfalleh, W., Nasri, N., Marzougui, N., Thabti, I., M'rabet, A., Yahya, Y., Lachiheb, B., Guasmi, F. y Ferchichi, A., 2009. Physico-chemical properties and DPPH-ABTS scavenging activity of some local pomegranate (*Punica granatum* L.) ecotypes. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 60(2):197-210.

Fadavi A., Barzegar, M., Azizi, M.H., Bayat, M., 2005. Physicochemical composition of ten pomegranate cultivars (*Punica granatum* L.) grown in Iran. *Food Science and Technology International*, 11:113-119.

FAO, 2006. Fichas técnicas. Productos frescos y procesados. [En línea]. Disponible en:

http://www.fao.org/inpho_archive/content/documents/vlibrary/ae620s/proc esados/fru18.htm#A1. Fecha de búsqueda: 05 de abril del 2015.

FDA, 2001. Bacteriological analytical manual. Yeast, molds and micotoxins. Chapter 18. [En línea]. Disponible en:

<http://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/LaboratoryMethods/ucm07 1435.htm>. Fecha de búsqueda: 05 de abril del 2015.

Franz, C., Specht, I., Cho, G., Graef, V., y Stahl, M. 2009. UV-C inactivation of microorganisms in naturally cloudy apple juice using novel inactivation equipment based on dean vortex technology. *Food Control*, 20:1103-1107.

García-Viguera, C. y Pérez, A. 2004. La granada, alimento rico en polifenoles antioxidantes y bajo en calorías. *Alimentación, Nutrición y Salud*, 11:113-120.

Gil, M., Tomás-Barberán, F., Hess-Pierce, B., Holcroft, D. y Kader, A. 2000. Antioxidant activity of pomegranate juice and its relationship with phenolic composition and processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48: 4581-4589.

Guerrero-Beltrán, J., Velti-Chanes, J. y Barbosa-Cánovas, G. 2009. Ultraviolet-C light processing of grape, cranberry and grape fruit to inactivate *Saccharomyces cerevisiae*, *Journal of Food Process Engineering*, 32(6):916-932.

González-Aguilar, G., Villegas-Ochoa M., Martínez-Téllez M., Gardea, A. y Ayala-Zavala, J. 2007. Improving antioxidant capacity of fresh-cut mangoes treated with UV-C. *Journal of Food Science*, 72:197-202.

Gutiérrez, M. 2010. Pasteurización de zumos con luz ultravioleta. [En línea]. Disponible en:

http://www.catedu.es/ctamagazine/index.php?option=com_content&task=view&id=669&Itemid=59. Fecha de búsqueda: 15 de abril de 2013.

Jurenka, J. 2008. Therapeutic applications of pomegranate (*Punica granatum* L.): A review. *Alternative Medicine Review*, 13(2):128-144.

Kaya, Z., Yıldız, S. y Ünlütürk, S., 2015. Effect of UV-C irradiation and heat treatment on the shelf life stability of a lemon–melon juice blend: multivariate statistical approach. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 29:230-239.

- Keyser, M., Muller, I., Cilliers, F., Nel, W. y Gouws, P. 2008. Ultraviolet radiation as a non-thermal treatment for the inactivation of microorganisms in fruit juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 9:348-354.
- Khan, S. 2009. The role of pomegranate (*Punica granatum* L.) in colon cancer. *Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences*, 22:346-348.
- Koutchma, T. y Parisi, B. 2004. Biodosimetry of *Escherichia coli* UV inactivation in model juices with regard to dose distribution in annular UV reactors. *Journal of Food Science*, 69:14-22.
- Koutchma, T. 2009. Advances in ultraviolet light technology for non-thermal processing of liquid foods. *Food and Bioprocess Technology*, 2:138-155.
- Kuskoski, E., Asuero, A., Troncoso A. y Macini-Filho J. 2005. Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Ciencia y tecnología de alimentos*, 25:726-732.
- La Cava, E. y Sgroppo, S. 2015. Evolution during refrigerated storage of bioactive compounds and quality characteristics of grapefruit (*Citrus paradise* Macf.) juice treated with UV-C light. *LWT - Food Science and Technology*, 63(2):1325-1333.
- Lansky, E. y Newman, R. 2007. *Punica granatum* (pomegranate) and its potential for prevention and treatment of inflammation and cancer. *Journal of Ethno pharmacology*, 109:177-206.
- López, E. 2003. Conservación de jugo de sandía aplicando irradiación ultravioleta de onda corta. Tesis para optar el Título de Licenciado en Ingeniería de Alimentos. Puebla, México: Departamento de Biblioteconomía y Documentación.
- López-Díaz, A., Palou, E. y López-Malo. 2012. Radiación ultravioleta en jugos de frutas: fundamentos y aplicaciones. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 6:79-93.

López-Mejía, O. A., López-Malo, A. y Palou, E. 2010. Granada (*Punica granatum* L.): una fuente de antioxidantes de interés natural. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 4(1):64-73.

López-Malo, A. y Palou, E. 2005. Ultraviolet and Food Preservation. *Food Processing Technologies*, 11:405-419.

López-Rubira, V., Conesa, A., Allende, A. y Artés, F. 2005. Shelf life and overall quality of minimally processed pomegranate arils modified atmosphere packaged and treated with UV-C. *Postharvest Biology and Technology*, 37:174-185.

Lorenzini, M., Fracchetti, F., Bolla, E., Stefanelli, E., Rossi, F. y Torriani, S. 2010. Ultraviolet light (UV-C) irradiation as an alternative technology for the control of microorganisms in grape juice and wine. Georgia: 33º Congreso Mundial de la Viña y el Vino.

Martínez, A. 2010. Análisis sensorial de diferentes marcas de jugo de naranja. Colombia. Universidad de Córdoba.

MINSA. 2008. NTS N° 071. Norma sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para alimentos y bebidas de consumo humano. Lima.

Montgomery, D. 2005. *Diseño y Análisis de Experimentos*. Editorial Limusa-Wiley. 2da Edición. México.

Mousavinejad, G., Emam-Djomeh, Z. y Rezaei, K. 2009. Identification and quantification of phenolic compounds and their effects on antioxidant activity in pomegranate juices of eight Iranian cultivars. *Food Chemistry*, 115:1274-1278.

Ochoa, C. y Guerrero, J. 2012. Ultraviolet-C Light Effect on Pitaya (*Stenocereus griseus*) Juice. *Journal of Food Research*, 1(2):60-70.

Orak, H. 2009. Evaluation of antioxidant activity, colour and some nutritional characteristics of pomegranate (*Punica granatum* L.) juice and its sour concentrate processed by conventional evaporation. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 60(1):1-11.

Pala, C. y Toklucu, A. 2013. Microbial, physicochemical and sensory properties of UV-C processed orange juice and its microbial stability during refrigerated storage. *LTW-Food Science and Technology*, 50:426-431.

Pala, C. y Toklucu, A. 2011. Effect of UV-C light on anthocyanin content and other quality parameters of pomegranate juice. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24:790-795.

Patil, S., Bourke, P., Frias, J., Tiwari, B. y Cullen, P. 2009. Inactivation of *Escherichia coli* in orange juice using ozone. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 10:551-557.

Patras, A., Brunton, N., O'Donnell, C. y Tiwari, B. 2010. Effect of thermal processing on anthocyanin stability in foods; mechanisms and kinetics of degradation. *Trends in Food Science and Technology*, 21:3-11.

Poyrasoglu E. 2002. Organic acids and phenolic compounds in pomegranates (*Punica granatum* L.) grown in Turkey. *Journal of food composition and analysis*, 15:567-575.

Rawson, A., Patras, A., Tiwari, B., Noci, F., Koutchma, T. y Brunton, N. 2011. Effect of thermal and non-thermal processing technologies on the bioactive content of exotic fruits and their products: Review of recent advances. *Food Research International*, 44:1875-1887.

Rein, M. 2005. Copigmentation reactions and color stability of berry anthocyanins. Tesis de Maestría. Universidad de Helsinki. Finlandia.

Tehranifar, A., Zarei, M., Esfandiyari, y Reza, M. 2010. Investigation of physico-chemical properties and antioxidant activity of twenty Iranian pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars. *Scientia Horticulturae*, 121:180-185.

Tran, M. y Farid, M. 2004. Ultraviolet treatment of orange juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 5:495-502.

Ureña P., D'Arrigo, H. y Girón, M. 2000. Evaluación sensorial de los alimentos. Universidad Nacional Agraria La Molina. Editorial Agraria. Lima, Perú.

Vaclavik, V. 2002. Fundamentos de la ciencia de los alimentos. Editorial Kluwer academic/Plenum Publishers. Dallas, Texas – USA.

Vasantha, V. y Li, J. 2012. Emerging preservation methods for fruit juices and beverages, *Food additive*, ISBN: 978-953-51-0067-6.

Weusthuis, M. 2009. Afghan pomegranates in the Netherlands, Netherlands: University of Applied Sciences.

ANEXOS

Anexo 1. Resultados de la pruebas fisicoquímicas, contenido de antocianinas y recuento de mohos y levaduras

Tiempo (días)	UV-C (kJ/L)	Repetición	pH	°Brix	Antocianinas totales (mg/100)	Recuento de mohos y levaduras (ufc/mL)
0	Fresco	1	3,39	14,80	60,45	1000
		2	3,46	14,10	61,87	1100
		3	3,27	15,60	57,44	900
		Promedio	3,37	14,83	59,92	1000
0	18	1	3,42	14,20	51,60	200
		2	3,28	14,50	52,35	220
		3	3,23	14,10	51,27	180
		Promedio	3,31	14,27	51,74	200
0	36	1	3,24	14,60	48,84	100
		2	3,28	14,50	46,76	150
		3	3,28	14,30	45,59	50
		Promedio	3,27	14,47	47,06	100
7	18	1	3,24	14,20	46,09	270
		2	3,29	14,50	43,00	300
		3	3,20	14,10	44,59	240
		Promedio	3,24	14,27	44,56	270
7	36	1	3,28	14,60	40,83	200
		2	3,32	14,60	42,42	250
		3	3,29	14,60	41,33	150
		Promedio	3,30	14,60	41,52	200
14	18	1	3,17	14,50	37,16	300
		2	3,34	14,40	36,74	350
		3	3,89	14,10	33,48	250
		Promedio	3,47	14,33	35,79	300
14	36	1	3,17	14,10	33,48	280
		2	3,29	14,30	33,98	310
		3	3,42	14,50	33,48	250
		Promedio	3,29	14,30	33,65	280

Anexo 2. Resultados de la prueba de aceptabilidad general

Tiempo de almacenamiento (días)	0		7		14	
UV-C (kJ/L)	18	36	18	36	18	36
Panelistas						
1	3	6	2	5	6	4
2	7	6	5	4	4	5
3	6	5	4	5	5	4
4	4	5	5	5	3	3
5	6	5	6	6	6	4
6	3	4	6	3	5	4
7	5	4	3	4	4	3
8	6	4	5	3	4	4
9	5	5	4	6	4	3
10	5	5	4	5	5	3
11	5	5	6	4	4	4
12	4	5	4	6	5	4
13	4	6	4	3	4	3
14	4	4	5	4	3	3
15	4	6	4	5	5	4
16	4	4	4	4	4	3
17	4	6	4	3	4	3
18	4	4	6	4	3	3
19	7	6	5	3	4	3
20	6	4	6	4	5	4
21	7	4	6	5	3	5
22	5	4	4	4	3	2
23	5	4	4	4	4	3
24	5	5	4	4	4	3
25	5	5	4	3	3	3
26	4	4	3	4	4	4
27	7	6	7	7	5	5
28	5	5	4	4	4	3
29	4	4	4	4	6	3
30	5	4	4	4	3	4
Moda	4	4	4	4	4	3
Promedio	4,93	4,80	4,53	4,30	4,20	3,53

Anexo 4. Galería de Fotografías



