

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUCUMÁN
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y TECNOLOGIA

TESIS DOCTORAL

**“DESARROLLO DE TECNOLOGÍAS
NO CONVENCIONALES PARA LA
CONSERVACIÓN NO TÉRMICA DE
ARANDANOS (*VACCINIUM SPP*)”**

Ing. Campero Eliana Vanesa
-2021-

Universidad Nacional de Tucumán
Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología

Honorable Consejo Directivo

Dra. Ana María Sfer
Ing. Sergio Daniel Saade
Ing. Hugo Daniel Anaya
Lic. María Isabel Giannini
Ing. María Florencia Nanni
Lic. Nicolás Guillermo Auvieux
Srta. Macarena Ruíz
Srta. Andrea Verónica Ortiz
Sr. Oscar A. Tapia
Sr. Armando B. Falcón
Ing. Osvaldo Heredia

Decano

Dr. Ing. Miguel Ángel Cabrera

Vice-Decano

Mg. Ing. Eduardo Martel

Secretaria de Asuntos Académicos

Ing. María Fernanda Guzmán

Departamento de Posgrado

Autoridades

Directora:

Dra. Sonia M. Vrech

Director alternativo:

Dr. Fernando D. Farfán

TRABAJO DE TESIS PARA OPTAR AL GRADO
ACADÉMICO SUPERIOR DE DOCTOR EN CIENCIAS
EXACTAS E INGENIERIA

CARRERA DE DOCTORADO EN CIENCIAS EXACTAS Y
TECNOLOGIA

Acreditación CONEAU N° 115/12, Categoría A. Marzo de 2012.
Reconocimiento oficial y validez nacional de Título Res.
Ministerial N° 6/2019.

Año de creación: 2003 (Res. HCS-UNT N° 1525/03).

Director

Dr. J Guillermo Etse

Comité Académico

Dra. Sonia Vrech

Dra. Marta Zossi

Dra. Ana Georgina Elías

Dr. Fernando Daniel Melle

Dr. Enzo Martinelli (Universidad de Palermo, Italia).

TRABAJO DE POSGRADO TITULADO:

**DESARROLLO DE TECNOLOGÍAS NO
CONVENCIONALES PARA LA
CONSERVACIÓN NO TÉRMICA DE
ARANDANOS (*VACCINIUM SPP*)**

Ing. Campero Eliana Vanesa
Tesisista

Dra. Ing. Barrionuevo
Ma. Julia
Directora

Dra. Gómez Marigliano
Ana C.
Directora Asociada

Comisión de Supervisión de Tesis Doctoral

Dra. Barrionuevo Ma. Julia

Dra. Gómez Marigliano Ana C.

Dr. Cesca Mario

Dra. Tirado Mónica

El presente trabajo de tesis se realizó en:

Laboratorio de Química Orgánica
Departamento de Ingeniería en Procesos
Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología
Universidad Nacional de Tucumán.

Laboratorio de Física Aplicada
Departamento de Física
INFINOA – CONICET
Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología
Universidad Nacional de Tucumán

**“Hay una fuerza motriz más
poderosa que el vapor, la electricidad y
la energía atómica: la voluntad”**

Albert Einstein

A mis amados padres Carlos y Blanca,
por su amor, ejemplo y comprensión.

A mis adorados hijos Juampi y Jazmín,
luz de mis días y mi vida entera
por esperar, por ser pacientes y comprender.

Agradecimientos

A mi directora Dra. Ma. Julia Barrionuevo a quien admiro profundamente, por estar siempre de manera constante. Por ser mi pilar, por su generosidad, sus conocimientos, optimismo, paciencia, contención y fundamentalmente, calidad humana.

A mi directora asociada Ana Clelia Gómez Marigliano por su guía constante, su apoyo, su tiempo, conocimientos y especialmente su cálida contención.

A los miembros de la comisión de supervisión: Dra. Mónica Tirado y Dr. Mario Cesca por sus valiosos aportes y sugerencias, por su aliento, atención y excelente revisión crítica.

A la UNT por las becas otorgadas para la realización y finalización de esta Tesis Doctoral, por mi formación de grado y de postgrado, por las infinitas oportunidades que me brinda.

Al Dr. Ing. Sergio Gor y Dra. Bárbara Silva por sus generosos aportes, con entusiasmo y sabiduría.

Al Dr. Ing. Daniel Valdeón por su amistad y ayuda constante a lo largo de mi tesis. Un excelente profesional y más aún una gran persona.

A la Ing. Nora Perrotti por su amabilidad y buena voluntad, siempre predispuesta con su valiosa colaboración.

A la Ingeniera Alejandra Romero por su amistad, apoyo, y gran predisposición en todo momento.

A la cátedra de Química Orgánica, por permitirme el uso de las instalaciones y equipos, necesarios para la realización de esta tesis.

A la Dra. Mariela González y Laura Tereschuch que siempre estuvieron disponibles no solo con conocimientos sino con palabras y enseñanzas de la vida. A personas maravillosas: Lic. Lucrecia Corral y Lic. Maximiliano Tolay, siempre dispuestos y buenos amigos.

A la Lic. Viviana Campos por su hermosa amistad, contención y desinteresado apoyo.

Al Dr. Ferrari por sus palabras de aliento, comprensión y optimismo.

A la Mg. Ing. Silvia Sáez, una gran persona, por su guía y colaboración constante.

Al Ing. Santiago Alurralde por sus amplios conocimientos y aportes.

Al Dr. Eduardo Dellacassa por sus enseñanzas, conocimientos y cálido recibimiento durante mi pasantía en Uruguay.

Al Mg. Ing. Alvaro Bravo, una excelente persona; por alentarme inicialmente, enseñarme y fundamentalmente por ser ejemplo de perseverancia y trabajo.

Al Sr. Gustavo Jimenez, personal de apoyo de CONICET, por su amable colaboración en la instalación eléctrica durante la construcción del prototipo.

Al Ing. Lucas Acosta por sus conocimientos y colaboración en la construcción del prototipo.

A Karen Danielsen por su sincera amistad, por sus valores y por todos los momentos de trabajo.

A mi querido tío Walter Campero por ser un gran ser, un ejemplo para mí y por ayudarme siempre en cualquier situación.

A mi amiga incondicional Ing. Gimena Zamora Rueda por su apoyo, por sus enseñanzas, su ejemplo, por confiar en mí y por su aliento infinito.

A mi amiga y hermana amada Dra. Natalia Díaz por apoyarme y alentarme, por acompañarme incondicionalmente

A mi amiga Ing. Soledad Medina por su apoyo, comprensión y aliento.

A mis amados sobrinos Fabricio, Valentino y Alis, seres extraordinarios, por su alegría y ternura.

A mis hermanos adorados Cesar, Javier y Lucas por ser mi pilar y valentía.

A mi suegra Irene por su ayuda constante, por su cuidado y amor hacia mis hijos.

A mis padres por siempre acompañarme, alentarme. Por su ejemplo, su esfuerzo y constancia.

A mi hijo Juan Pablo, pequeño maravilloso, que me enseñó el sentido de la vida, tierno y entusiasta. Por su paciencia, espera y comprensión.

A mi hija Jazmín, dulce niña, por enseñarme a seguir adelante con firmeza y decisión. Por su ternura y espera.

A mi amor Néstor, ejemplo de fortaleza y resistencia. Por estar, por acompañarme, por comprender y apoyarme.

INDICE GENERAL

ABREVIATURAS

RESUMEN

OBJETIVOS

CAPITULO 1: Introducción General

1.1. Arándano	2
1.1.1 Generalidades: Características y Propiedades	2
1.1.2 En Argentina	2
1.1.3 En Tucumán	4
1.1.4 Exportación	5
1.1.5 Proceso productivo del arándano	8
1.2 Tratamientos para extender la vida postcosecha de arándanos	15
1.2.1 Enfriamiento	17
1.2.2 Procesos no térmicos	19
1.2.2.1 Atmósferas controladas y modificadas	19
1.2.2.2 Bromurado	21
1.2.2.3 Irradiación	24
1.2.2.4 Irradiación UV	26
1.2.2.5 Luz pulsada	28
1.3 En el mercado actual	28
1.4 Aspectos reglamentarios	30
1.4.1 Código Alimentario Argentino	30
1.4.2 Ley 19587- Higiene y Seguridad en el Trabajo	32
1.4.3 Code of Federal Regulations (CFR) Estados Unidos	32
1.4.4 Codex Alimentarius. Unión Europea	33
CAPÍTULO 2: Caracterización física, química y microbiológica del fruto arándano y su evolución temporal	
2.1 Generalidades	35
2.2 Espectroscopía Ultravioleta-Visible (UV-Vis)	36
2.3 Compuestos Fenólicos	40

2.4 Medición de la actividad antioxidante	43
2.5 Materiales y métodos	48
2.6 Resultados	57
2.7 Conclusión	77
CAPÍTULO 3: Métodos de conservación no convencionales: ensayo a nivel laboratorio.	
3.1 Generalidades	79
3.2 Fruto congelado	81
3.2.1 Efecto de pulsos de microondas sobre arándanos	81
3.2.1.1 Materiales y métodos	84
3.2.1.2 Resultados y Discusión	87
3.2.1.3 Conclusión	94
3.2.2 Efecto de radiación UV sobre arándanos	95
3.2.2.1 Materiales y métodos	96
3.2.2.2 Resultados	99
3.2.2.3 Conclusiones	102
3.3 Fruto recién cosechado	102
3.3.1 Materiales y métodos	103
3.3.2 Resultados	105
3.3.3 Conclusión	111
CAPÍTULO 4: Efecto de la radiación ultravioleta "UV" en la conservación poscosecha de arándanos	
4.1 Radiación UV en alimentos	115
4.2 Radiación UV en arándanos	117
4.3 Daño fotoquímico	118
4.4 Homersis	120
4.5 Características de la radiación UV-C	123
4.6 Desventajas del tratamiento UV-C	126
4.7 Factores críticos a considerar en la eficiencia de la radiación UV-C	127
4.8 Fuente de UV-C	132
4.9 Conservación poscosecha de arándanos con UV-C	134

4.9.1 Materiales y métodos	135
4.9.2 Resultados	137
4.9.3 Análisis estadístico	148
4.9.4 Conclusiones	148
CAPÍTULO 5: Diseño, construcción y utilización del equipo de aplicación de método.	
5.1 Diseño del equipo de aplicación	151
5.2 Determinación de la dosis UV	155
5.3 Estudio de lámparas UV	157
5.3.1 Medición de irradiancia y transmitancia espectral	158
5.3.2 Resultados	161
5.4 Escalamiento	164
5.5 Diseño del prototipo	167
5.6 Utilización del equipo de aplicación de método	171
5.6.1 Materiales y métodos	174
5.6.2 Resultados	179
5.6.3 Conclusión	195
CAPITULO 6: Evaluación Económica	
6.1 Costos de construcción de prototipo	197
6.2 Análisis Económico	199
6.3 Consideraciones ambientales	202
CAPITULO 7: Conclusiones Generales	
7.1 Conclusiones Generales	205
7.2 Publicaciones	211
7.3 Congresos	212
BIBLIOGRAFIA	216-243

ABREVIATURAS

°Bx	grados Brix
A. tenuissima	Alternaria Tenuissima
ADN	ácido desoxirribonucleico
ANMAT	Administración Nac. de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Méd.
AO	Ozono acuoso
APHIS	Servicio de Inspección Sanitaria de Plantas y Animales
ARN	ácido ribonucleico
B. cinérea	Botrytis cinérea
CFT	compuestos fenólicos totales
CI	casaca irradiada
CN	cáscara natural
Col	Colaboradores
D	Densidad
DPPH	1,1-difenil-2-picril-hidrazilo
EPA	Agencia Ambiental Americana
F-C	Folin-Ciocalteu
FCHel	fruto completo conservado en heladera
FCI0	fruto completo irradiado al día 0
FCI3	fruto completo irradiado en el día 3
FCI7	fruto completo irradiado en el día 7
FCN	fruto completo natural
FCN3	fruto completo natural en el día 3
FCN7	fruto completo natural en el día 7
FDA	Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos
HHP	alta presión hidrotática
HPLC	cromatografía líquida de alta resolución
i	índice de refracción
IR	Infrarrojo
nm	Nanómetros
PAA	ácido peracético
PEF	campos eléctricos pulsados

PET	tereftalato de polietileno
pH	potencial Hidrógeno
PI	pulpa irradiada
PN	pulpa natural
PP	pérdida de peso
PUV	luz ultravioleta pulsada
RFC	reactivo de Folin-Ciocalteu
SD	desviación estándar
SENASA	Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria
sp.	Especie
SS	sólidos solubles
T	Temperatura
UFC	unidades formadoras de colonias
USDA	Departamento de Agricultura de los Estados Unidos
UV	Ultravioleta
UV-A	ultravioleta A
UV-B	ultravioleta B
UV-C	ultravioleta C
UV-Vis	ultravioleta visible

RESUMEN

En este trabajo se desarrolló métodos de conservación de arándanos aplicando nuevas tecnologías no convencionales, permitiendo mantener las cualidades funcionales de la fruta.

Se evaluó la fruta tratada con métodos convencionales de conservación y con los posibles métodos no térmicos que permitirían extender la vida útil de los arándanos. Para ello se estudiaron propiedades físicas, químicas y microbiológicas.

Se ensayó a nivel laboratorio métodos de conservación no convencionales, amigables con el medio ambiente, evaluando el efecto sobre el fruto arándano para determinar algún componente nuevo, no deseado y/o la alteración de los componentes más importantes, la mejora de las variables dinámicas y la evolución temporal del jugo de los frutos arándanos almacenados en diferentes condiciones de iluminación y temperatura. Se empleó como método de evaluación de la calidad del fruto la espectroscopia UV-Vis. En frutos conservados a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 6 meses se realizó un análisis temporal comparativo de la calidad del jugo de frutos sin tratamiento y de aquellas que se sometieron a irradiaciones. Se ensayaron aplicaciones de diferentes intensidades de pulsos de microondas, luz blanca continua y pulsada, radiación UV de 254 nm y 365 nm pulsadas y continuas y con y sin zarandeo. Luego se ensayó con el fruto recién cosechado.

Se estudió la composición química de los compuestos fenólicos del jugo, cáscara y pulpa en función del tiempo mediante técnicas cromatográficas (HPLC), UV-Vis y parámetros colorimétricos del fruto antes y después de la aplicación del método de conservación.

Se hizo un estudio de las lámparas UV-C a ser usadas en el prototipo, se diseñó y construyó el equipo para la aplicación del método de conservación. Finalmente se evaluaron temporalmente los frutos tratados con el prototipo construido.

Se concluye que: es aconsejable la conservación en la oscuridad. Los procesos de radiado con microondas no parecen ser apropiados. El proceso de irradiación con UV se presenta como promisorio para conservar fruta, pero debe ser pulsado y con una longitud de onda de 254 nm.

Los frutos irradiados y conservados a temperatura ambiente muestran un comportamiento similar al de los frutos naturales a tiempo cero, manteniendo la madurez fisiológica y fenológica del fruto y por lo tanto sus propiedades organolépticas. Por otra parte, la metodología propuesta es económica, versátil y sustentable. Por este motivo se considera que la irradiación UV-C de arándanos es promisorio.

OBJETIVOS

General

Desarrollar métodos de conservación de arándanos aplicando nuevas tecnologías, amigables con el medio ambiente, que permitan mantener las cualidades nutricionales y funcionales de la fruta. Estudiar la factibilidad económica del método propuesto.

Específicos

- Investigar la composición de las especies de arándanos que se producen en la región.
- Evaluar nuevas metodologías de conservación, que mantengan los parámetros nutricionales dentro de los valores recomendados.
- Desarrollar un prototipo de equipamiento para aplicar los tratamientos propuestos.
- Realizar análisis de factibilidad económica de los métodos propuestos.
- Evaluar las ventajas de dichas técnicas de conservación respecto a las convencionales tanto desde el punto de vista de los parámetros nutricionales como de la factibilidad.



CAPITULO 1:

Introducción

General

1.1 Arándano

1.1.1 Generalidades: Características y Propiedades

El arándano es una fruta del tipo baya, considerada dentro del grupo de las frutas finas o berries, con alto contenido de antioxidantes y apreciada por sus propiedades nutraceuticas. Proviene de un arbusto perenne nativo del este de América del Norte, perteneciente a la familia Ericaceae, género Vaccinium (Meléndez-Jácome, 2021).

Este fruto se encuentra incorporado a la dieta de los habitantes de los países desarrollados, en las que podemos encontrar variedades silvestres (Rivadeneira, 2020), se caracteriza por poseer un bajo valor calórico y un gran contenido en agua (más del 80 % del peso total del fruto). Si bien su aporte en macronutrientes no es destacable, su calidad nutricional viene determinada por ser una buena fuente de vitaminas y minerales. Además, contiene diversos fitoquímicos, principalmente de naturaleza fenólica, relacionados con distintos parámetros de calidad organoléptica, nutricional y funcional (Vázquez-Castilla, 2012).

Entre los efectos beneficiosos del consumo de arándanos cabe destacar la capacidad de revertir las pérdidas de memoria asociadas al envejecimiento y a las primeras etapas de enfermedades como el Alzheimer (Joseph et al., 2003). Según estos mismos autores, los polifenoles del arándano son capaces de ejercer su acción antiinflamatoria a nivel celular. Puesto que esta inflamación celular es el foco de numerosas enfermedades degenerativas, asociadas al envejecimiento, el consumo de arándanos podría prevenir y/o retrasar dichos procesos degenerativos (Shukitt-Hale et al., 2008).

1.1.2 En Argentina

El arándano comenzó a cultivarse en el año 1993, logrando ser un importante proveedor en contra-estación para abastecer la demanda del Hemisferio Norte. A partir del mes de agosto se obtiene la fruta temprana o primicia con volúmenes comerciables.

Las variedades más plantadas en Argentina son las de tipo "hightbush" (arándano alto) siendo las tres zonas de mayor producción:

- NEA (Entre Ríos, Corrientes y Misiones)
- NOA (Tucumán, Salta y Catamarca)
- Centro (Buenos Aires)

En el cuadro 1.1 se muestra las distintas variedades y los meses de producción, sintetizando el calendario de cosecha (expresado en semanas y meses) de las principales variedades que actualmente se encuentran en producción en el país.

Cuadro 1.1. Cosecha por variedad. Fuente: argblueberry.

	Agosto	Septiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre		
VARIEDAD	32-35 s	36 s	37 s	38 s	39 s	40 s	41 s	42 s	43 s	44 s	45 s	46 s	47 s	48 s	49 s	50 s
Snowchaser																
Sapphire																
Springhigh																
Emerald																
Primadonna																
Jewel																
Star																
Bluecrisp																
Oneal																
Misty																
Abundance																

s: semanas del año

La producción tucumana comienza en septiembre, continúa en Entre Ríos (Concordia) desde mediados de octubre y finaliza en diciembre con la producción de Buenos Aires.

El principal destino de la producción de arándanos es la exportación como fruta fresca a EE. UU., Canadá, Países Europeos, etc. En el mercado interno la industrialización del producto es escasa.

La producción promedio de arándanos de los últimos años es aproximadamente 17.600.000 de kilos de las cuales:

- 60 % se exporta como fruta fresca,
- 23 % como congelado (industria)
- 17 % restante se destina al mercado local en su mayoría como fruta fresca.

Estos resultados se presentan en el cuadro 1.2.

Cuadro 1.2. Cantidad de arándanos producidos durante el año 2020. Fuente: Argberry.

Producto	Kg Producidos en 2020	%
Fresco exportado	10.600.000	60
Congelado exportado	4.000.000	23
Mercado interno	3.000.000	17
Total de Producción	17.600.000	100

1.1.3 En Tucumán

La producción de arándanos se inicia en el año 1998. Es una notable fuente de ingreso económico y de trabajo en la provincia, dado que se requieren empleados todo el año en el campo, y durante el pico de cosecha se incrementa tanto con los cosecheros como en empleados de empaque.

Tucumán ocupa el segundo puesto en cuanto a la producción de arándanos a nivel país, luego de Concordia.

Los Departamentos más importantes en cuanto a producción son Monteros (35 % de la superficie provincial), Chicligasta (18 %), Alberdi (16,3 %) y Famaillá (14,6 %), entre otros.

Una ventaja muy importante de la producción de arándanos en Tucumán es que ocurre en contra-estación temprana, lo que permite alcanzar exportaciones ventajosas y aumento de empleo en contraestación.

1.1.4 Exportación

La producción argentina de arándano se destina fundamentalmente a la exportación como fruta fresca para abastecer mercados consumidores del Hemisferio Norte (APAMA, 2016). Exporta más del 90 por ciento de la fruta que se cosecha en Tucumán, Entre Ríos, Buenos Aires y, desde hace poco tiempo, en San Luis. Aunque el crecimiento de la producción en los últimos tres años ha sido exponencial, la oferta de cámaras de frío y bodegas aéreas no creció de la misma manera. El principal destino de las ventas es Estados Unidos, país que el año 2007 concentró alrededor del 70 % de los envíos (Federico Baya, La Nación, 2008).

La fruta permanece en tránsito durante una semana o un mes, dependiendo del tipo de flete (aéreo o marítimo) y la distancia al mercado (USA o Europa). Por este motivo, uno de los puntos críticos que afronta el sector productivo es la exigencia de calidad del arándano en destino final, vinculada principalmente a la pérdida de firmeza y presencia de pudriciones, que no siempre son detectadas en origen. Sin embargo, las exportadoras y recibidores finales clasifican la fruta y aplican descuentos en las liquidaciones proporcionales a la calidad, los cuales representan significativas pérdidas económicas no previsibles hasta que la fruta llega a destino (APAMA, 2017).

Transportar un kilogramo de arándanos vía aérea cuesta cuatro veces más que por vía marítima. El transporte es en su mayoría aéreo debido a que las bayas experimentan pérdida de calidad a ritmo acelerado desde el momento de la cosecha, asociada con un excesivo ablandamiento, desarrollo de mohos, deshidratación, entre otros. Sin embargo, sólo se justifica el envío aéreo cuando el precio por kilogramo es elevado, la calidad de las bayas en origen es óptima y en ciertas variedades en las que la pérdida de calidad ocurre a menor velocidad (Heredia, 2014). En 2017 los envíos por barco, aumentaron en todos los destinos de exportación: un 25 % a USA, un 63 % a UK y un 47 % a Europa Continental, en comparación al año 2016 (APAMA, 2017).

En la figura 1.1 se muestran los destinos más importantes del producto en el año 2020.



Figura 1.1. Lista de mercados importadores para arándanos de Argentina 2020.

Fuente: trademap.org.

Requisitos de Acceso de Arándanos Frescos según el País:

EE.UU.

Requisitos fitosanitarios:

- El exportador debe contar con el certificado fitosanitario que emite el SENASA indicando que se cumplió con el tratamiento de frío o de bromuro de metilo o

indicando que los arándanos provienen de un área reconocida por Estados Unidos como zona libre de mosca de los frutos (Patagonia y Oasis del Centro y Sur de Mendoza) y por lo tanto no requieren del tratamiento.

- Los exportadores de arándanos pueden participar del sistema de pre-clearance (inspección que realiza personal de APHIS en Argentina previa al embarque). Estos embarques pueden ingresar a Estados Unidos por cualquiera de sus puertos.
- Si el embarque no recibió el tratamiento necesario o si no fue pre aprobado en Argentina por APHIS/USDA, solamente puede ingresar a Estados Unidos a través de los puertos ubicados al norte del paralelo 104° y meridiano 39°.
- El importador debe solicitar al APHIS/USDA un permiso de importación (E-permit).
- Registro ante la FDA: los establecimientos que exportan frutas y hortalizas a los Estados Unidos deben registrarse ante la FDA y renovar su registro cada dos años (entre el 1 de octubre y el 31 de diciembre de los años pares).
- Notificación previa al envío: los exportadores deben comunicar a la FDA la fecha de llegada, el puerto de entrada y el contenido del cargamento enviado con el plazo de antelación establecido de acuerdo con el medio de transporte utilizado.
- Ley de Modernización de la Inocuidad de los Alimentos (FSMA): los establecimientos que producen, cosechan, empaacan y/o almacenan arándanos deben cumplir con la norma de “Estándares para el Cultivo, Cosecha, Empaque y Almacenamiento de Frutas y Hortalizas Frescas”. Esta norma establece los estándares mínimos para impedir la contaminación de frutas y hortalizas durante la etapa de producción, procesamiento y almacenamiento. Esta norma requiere

que al menos un supervisor o responsable haya completado exitosamente un curso sobre inocuidad de los alimentos equivalente al reconocido por la FDA.

Países de Europa

Requisitos fitosanitarios:

Los requisitos específicos para la entrada de arándanos a Finlandia (UE) son: Control de contaminantes en alimentos. Control de residuos de plaguicidas en alimentos de origen vegetal y animal. Control sanitario de alimentos de origen no animal. Control sanitario de alimentos genéticamente modificados (GM) y nuevos alimentos. Controles fitosanitarios Trazabilidad, cumplimiento y responsabilidad en alimentos y piensos. Etiquetado de alimentos (en finés y sueco). Normas de comercialización de hortalizas y frutas frescas Voluntario - Productos de producción ecológica.

1.1.5 Proceso productivo del arándano

El proceso productivo es el conjunto de tareas y procedimientos requeridos que realiza una empresa para efectuar la elaboración de bienes y servicios.

También puede entenderse como una serie de operaciones y procesos necesarios que se realizan de forma planificada y sucesiva para transformar una materia prima en un producto. La finalidad es satisfacer la demanda del mercado.

Etapas del proceso productivo

El proceso productivo sigue una serie de etapas, siendo las más importantes:

1. Adquisición de materias primas

En esta primera etapa del proceso productivo la empresa reúne todas las materias primas que serán imprescindibles para la fabricación de los productos que ofrecerá al mercado. Por otro lado, las empresas buscan en esta fase obtener la mayor

cantidad de materias primas al menor costo posible, puesto que de esto dependerá si al final puede obtener utilidades o pérdidas empresariales.

En esta etapa la empresa contacta con proveedores y escoge aquellos que les proporcionen los mejores precios y la mejor calidad de los insumos.

Finalmente, para completar esta fase, es preciso determinar el objetivo de producción, porque de ello dependerán las cantidades correctas de materias primas solicitadas y el equipo necesario para desarrollar eficientemente el proceso productivo.



Figura1.2. Materia prima

2. Elaboración industrial

En esta etapa se realiza la transformación de las materias primas e insumos en productos, por ello, es indispensable mantener controles estrictos para dar cumplimiento a los estándares de calidad exigidos.

Esta etapa es un punto clave para hacer correcciones o mejoras dentro de la actividad productiva.

3. Elaboración comercial (distribución y comercialización)

Esta fase del proceso se orienta directamente al proceso de la comercialización de los bienes y servicios. Es importante tomar en cuenta la logística de almacenamiento, transporte y los elementos intangibles de los servicios en función de la demanda que se presenta dentro del mercado. Se debe evaluar el cumplimiento de las metas establecidas por la empresa y realizar las correcciones si fuesen necesarias.

Elementos del proceso productivo

1. Factores de producción

Los factores de producción son requeridos para llevar a cabo el proceso de producción como la tierra, el capital y el trabajo.

2. Proceso productivo

Incluye toda la tecnología que se utiliza dentro del proceso y consiste en determinar cómo se efectúa la combinación de los medios humanos y materiales para desarrollar el proceso de producción.

3. Productos

Los productos son todos los bienes y servicios que produce la empresa para el consumo final de los agentes económicos; o bienes de capital que son usados para la producción de otros satisfactores o la generación de más riqueza productiva.

Por lo tanto, el proceso productivo sigue una serie de etapas que empiezan con la adquisición de la materia prima, continúa con el proceso de su transformación hasta convertirlo en un producto y termina con el proceso de comercialización.

El proceso productivo debe plantear objetivos precisos y controles estrictos, logrando la empresa obtener utilidades. Lo más importante es adaptar el proceso productivo a los requerimientos del mercado.

Proceso productivo del arándano

En el esquema a continuación se muestran las etapas del proceso productivo

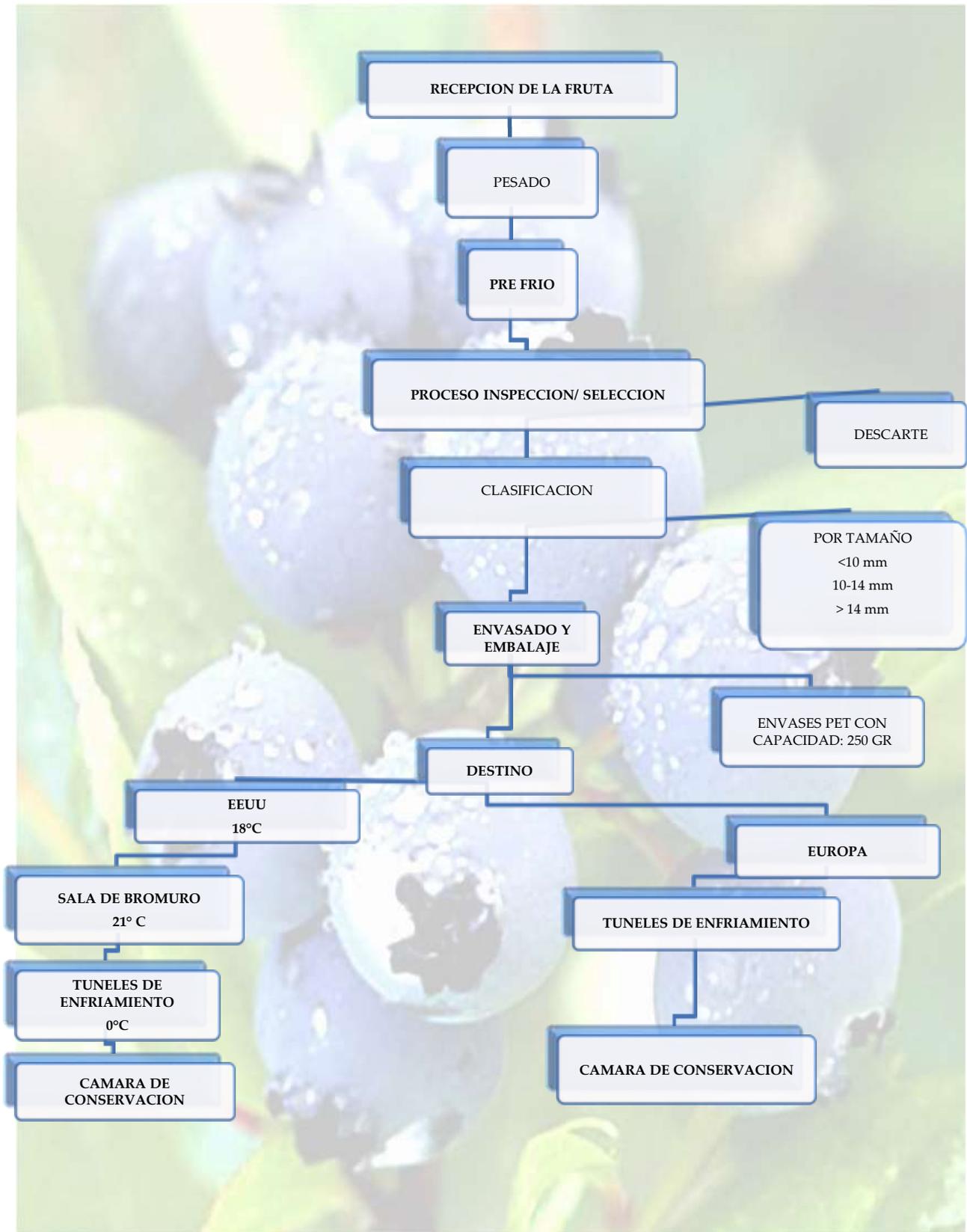


Figura 1.3. Etapas del proceso productivo del fruto arándano.

Recepción:

Los arándanos recolectados en el campo deben llegar lo antes posible al área de recepción. Los arándanos ingresan en bandejas de plásticos (60 cm x 30 cm x 15 cm), de aproximadamente 2 kg paletizadas, se inspeccionan y se colocan sobre parihuelas de madera para su respectivo pesado. Todo el producto en recepción se identifica con un código alfa-numérico por cada lote.

**Primer pesado:**

Se pesan los arándanos ingresantes a la planta procesadora en una balanza electrónica y esos datos se guardan con un colector de datos.

**Pre-frio:**

Los arándanos recién llegados ingresan a las cámaras de refrigeración a una temperatura de 0 °C para buen manipuleo en el proceso.



Selección:

Se seleccionará de acuerdo con los defectos que presenten (fruta deshidratada, pudrición, inmaduros, daño mecánico, falta de pruina, blandas, entre otros). Esta operación ahorrará energía ya que los productos de desecho no se manipularán.

Adicionalmente, eliminando los productos podridos se limitará la propagación de infecciones a las demás unidades, especialmente si no se usan pesticidas postcosecha.

La persona encargada de la inspección debe considerar las siguientes características:

- Fruta sana.
- Ausencia de ataques de insectos.
- Estado de madurez fisiológica.
- Color, tamaño y textura uniforme.



Pudrición gris

Piel suelta



Pudrición rosada

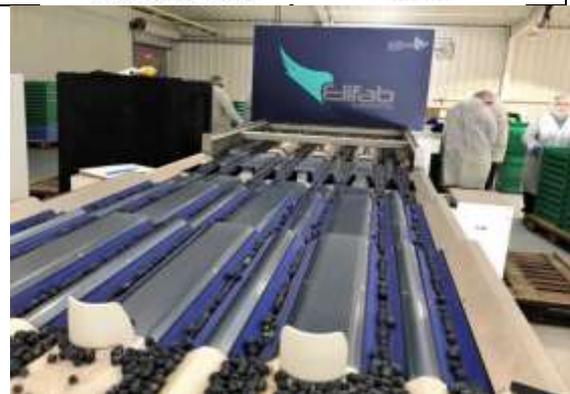
Otros

Clasificación:

Se clasificará por tamaño:

- < 10 mm (no se comercializa),
- 10-14 mm
- > 14 mm

El objetivo es la uniformidad del Clamshell.



<p>Envasado/etiquetado:</p> <p>Los arándanos son envasados en cubetas transparente PET (Clamshells), de mediano tamaño con una capacidad de 250/125 gr. Se coloca la etiqueta indicando el nombre y marca del producto, características, información nutricional, peso, empresa productora entre otros.</p>	
<p>Segundo pesado:</p> <p>El peso total debe de ser 250 gr; confirmado el peso se proceder a tapar las cubetas PET.</p>	
<p>Embalaje:</p> <p>Se emplean cajas de capacidad de 12/20 cubetas transparente PET, finalmente son apiladas 100 cajas sobre una paleta.</p> <p>Las cajas terminadas son colocadas sobre parihuelas de madera colocando las cajas alternas y contiguas a razón de 12 por piso y 22 pisos por pallet.</p> <p>El producto se asegura colocando esquineros, que se sujetan con zunchos y grapas metálicas. La identificación se realiza con stickers que detallan: fecha de empaque, calibre, variedad, etc.</p>	

Almacenamiento:

Las paletas son trasladadas desde la zona de embalaje para ser almacenados a una temperatura promedio entre 0 ° y 1 °C, hasta el momento de realizarse el despacho.

El producto se comercializa en los diversos mercados nacionales como internacionales.



1.2 Tratamientos para extender la vida postcosecha de arándanos

La calidad de los arándanos está medida principalmente por características organolépticas como la firmeza, color, deshidratación y presencia de pudriciones. Para mantener las cualidades de los frutos desde el origen, es necesario evaluar el efecto que tienen los manejos de postcosecha sobre la condición que la fruta presenta en destino (Adaskaveg, 2007; Paniagua et al., 2013).

Los arándanos tienen una vida postcosecha corta que en muchos casos resulta limitante para el acceso a mercados distantes, así, para aumentar la vida poscosecha se han evaluado diferentes estrategias.

A nivel comercial la tecnología más difundida es la refrigeración. En condiciones de almacenamiento a 0 °C la vida útil de los frutos puede alcanzar unas 2 a 3 semanas (Connor et al., 2002).

Además se han evaluado distintos métodos de los cuales algunos aún no se han difundido a nivel comercial. Entre ellos:

- Las atmósferas modificadas (Zheng et al., 2003)
- Uso de Bromuro de Metilo
- Recubrimientos comestibles (Duan et al., 2011)

- Tratamientos con radiación ultravioleta (Perkins-Veazie et al., 2008)
- Aplicaciones de calcio en precosecha (Angeletti et al., 2010)
- Uso de 1-metilciclopropeno y óxido nítrico (Gergoff et al., 2017)

Refrigeración

Cuando el destino de los arándanos es para consumo en fresco, es necesario reducir rápidamente la temperatura de los frutos mediante el pre-enfriado, hasta alcanzar valores próximos al aconsejado para la conservación, con el fin de evitar pérdidas de la calidad. Debe efectuarse en las primeras 4 horas desde la cosecha. El método más recomendable para pre-enfriarlos es la utilización de aire forzado, que consiste en pasar aire frío dentro de los envases por acción de un ventilador. Con este sistema se consigue bajar la temperatura del interior de los frutos desde 20–25 °C hasta 1,5 °C en 2 horas, mientras que utilizando una cámara fría se requieren 48 horas.

La fruta preenfriada debe permanecer a una temperatura próxima a 0 °C con una humedad relativa entre 90 y 95 %. En estas condiciones los frutos pueden mantener su calidad óptima unas dos o tres semanas.

Congelación

La congelación de alimentos es una forma de conservación que se basa en la solidificación del agua contenida en éstos. La conservación por frío es capaz de detener los procesos bacteriológicos y enzimáticos que alteran los alimentos. La calidad del producto congelado depende de la velocidad a la que el fruto es congelado.

En el caso del arándano, si el destino de los frutos es la industria transformadora, lo más común es congelarlos. Tras recogerlos, los frutos se someten a un chorro de aire para eliminar los restos de hojas, pedúnculo, etc. Después, se hace una selección más fina, eliminando otras materias extrañas, generalmente mediante técnicas de separación aerodinámicas, posteriormente se lavan, se secan y se

envasan para su congelación. Para pequeñas producciones en los que la recogida se efectúa manualmente, y por tanto más selectiva, es más habitual congelar directamente.

Sistemas de congelación:

- Congelación rápida: se realiza en túneles con aire forzado. A su vez la congelación de un alimento nunca es completa, siempre hay una fracción de agua que no se congela, alcanzando la temperatura del eutéctico final. También puede ser ultrarrápida utilizando fluido criogénicos. Este sistema permite emplear distintos tipos de envases.

- Congelación en túneles IQF (Individually Quick Frozen): sistema más sofisticado donde los frutos se congelan de forma individual a $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ en segundos, por lo que a la hora de descongelar pierden menos agua y firmeza, manteniendo una mayor calidad. Una vez congelados se mantienen en una cámara de congelación normal a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. El inconveniente de este sistema es el elevado coste.

1.2.1 Enfriamiento

La temperatura y la humedad relativa son parámetros críticos para prolongar la vida poscosecha de los arándanos. La pérdida de agua produce arrugamiento, afectando de manera negativa la apariencia de la fruta. Por este motivo es importante mantener la fruta a la temperatura y humedad recomendadas (95% a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$) para disminuir el déficit de presión de vapor y la deshidratación.

Con un buen manejo de cosecha, rápido enfriamiento y almacenaje a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, en condiciones de humedad relativa de entre 90% y 95% , los arándanos tienen una duración mínima de 14 días.

Durante la cosecha los frutos se encuentran en general bajo condiciones de alta temperatura ambiente, lo que hace que se encuentran respirando a una alta tasa.

Después de la cosecha y llegada al empaque, son necesarios sistemas eficientes para lograr una rápida disminución de la temperatura entre 0 y 1 °C, recomendada para el almacenamiento y transporte.

Con estrategias de enfriamiento por aire forzado es posible reducir la temperatura de huerto a temperaturas de almacenamiento (0-1 °C) en menos de 1 h. Se ha demostrado que arándanos enfriados a 1,5 °C en 2 h presentaron menor nivel de pudrición después de almacenamiento que los enfriados a la misma temperatura, pero en 48 h.

El control de frío puede llegar hasta la línea de empaque, donde se puede incorporar un túnel de pre-frío que permite obtener fruta con temperatura cercana a 0 °C al final de la línea. Para un enfriamiento por aire forzado eficiente se deben considerar las perforaciones de los materiales de embalaje y su orientación para favorecer el flujo de aire frío.

Utilizando cámara convencional en forma pasiva los frutos ubicados al centro de envases o pallets reciben un enfriamiento inadecuado, generando además condiciones de condensación al liberar aire cálido a los frutos del exterior que están a menor temperatura.

Una vez realizado el enfriamiento rápido y que la fruta ha alcanzado su temperatura óptima de almacenamiento-transporte, es importante mantener la cadena de frío.

Es así como para evitar quiebres térmicos, una operación ideal para arándanos considera las labores de pre-enfriado (aire forzado), embalaje en un ambiente refrigerado y almacenaje en una cámara frigorífica que mantiene la vida útil entre 14 y 28 días, con una temperatura de 0 °C y una humedad relativa del 95 %. La logística debe coordinar que la fruta permanezca almacenada en origen el menor tiempo posible, de modo que pueda mantenerse durante más tiempo en destino, para su distribución y comercialización.

1.2.2 Procesos no térmicos

El incremento del consumo de arándanos en todo el mundo se debe a las propiedades organolépticas junto con sus múltiples beneficios para la salud.

Por lo tanto, es necesario el desarrollo de nuevas alternativas que ayuden a controlar el número de brotes provocados por microorganismos patógenos asociados al consumo en fresco y el rápido deterioro de este producto, principalmente causado por mohos.

Existen diferentes estrategias que van desde tecnologías químicas, físicas y biológicas hasta métodos combinados aplicados para la descontaminación microbiana de arándanos frescos y productos derivados. (Janisiewicz y Conway, 2011.), (Schenk et al., 2012).

Los procesos no térmicos presentan varias ventajas sobre los métodos convencionales de procesamiento térmico.

Los procesos no térmicos ayudan a la inactivación de microorganismos patógenos y deteriorativos, así como a la inactivación de enzimas, teniendo un efecto mínimo sobre el color, sabor, textura y propiedades nutritivas del alimento.

Teniendo como base la extensión de la vida poscosecha de los arándanos, se han evaluado una serie de tecnologías:

1.2.2.1 Atmósferas controladas y modificadas

Se basan en la modificación de la composición de gases (O_2 y CO_2) durante el almacenamiento y/o transporte. El principal efecto sobre la fisiología de la fruta es la disminución de la actividad metabólica, así como el control de hongos.

Entre los potenciales beneficios de estas tecnologías se pueden mencionar una reducción de la deshidratación y menor desarrollo de pudriciones.

Los niveles de gases logrados a través del uso de atmosfera modificada son dependientes de características de la fruta (tasa respiratoria, temperatura), de la

cubierta o film (permeabilidad principalmente), y ambiente (temperatura). Al contrario, en atmósfera controlada los niveles de gases a utilizar son mantenidos y/o ajustados en forma automática durante todo el almacenamiento de la fruta, lo que lo independiza de los factores mencionados para atmósfera modificada.

En atmósfera modificada para llegar en forma rápida a la concentración de gases final es necesario realizar una inyección inicial, la que posteriormente se mantiene a través de la respiración de la fruta y características del film (atmósfera modificada activa). Para arándano, las concentraciones que han mostrado ventajas en la extensión de las cualidades del fruto en poscosecha son 2-5 % de O₂ y 10-15 % de CO₂ a 0 °C. Los efectos de alto CO₂ pasan básicamente por el control de patógenos como Botrytis, concentraciones mayores a un 10 % han demostrado ser eficientes en el control de patógenos. Uno de los factores que determina qué concentraciones utilizar para alcanzar un máximo beneficio en poscosecha es la susceptibilidad de una determinada variedad a bajos niveles de O₂ y altos de CO₂. Niveles bajos de O₂ (< 2 %) o altos de CO₂ (25 %) pueden desarrollar procesos metabólicos que resulten en el desarrollo de sabores o aromas extraños en la fruta, pardeamientos o decoloraciones y una mayor incidencia de pudriciones.

Mantener la temperatura apropiada durante toda la cadena, asegura un tratamiento por atmósfera modificada eficiente. Es importante considerar el factor varietal, ya que las tasas respiratorias varían dependiendo de la variedad y el tiempo de exposición. Un efecto anexo del uso de atmósfera modificada es reducir la pérdida de humedad, sin embargo, si se produce una excesiva condensación ésta puede aumentar los problemas de pudrición.

Los arándanos pueden conservarse, manteniendo una adecuada refrigeración y en atmósferas controladas del 10-12 % CO₂ y aproximadamente 10 % O₂, por un periodo de 6 a 9 semanas, dependiendo del cultivar y del estado de madurez inicial del fruto.

Uno de los inconvenientes que presenta el uso de esta tecnología es su elevado costo. No obstante, la aplicación de atmósfera controlada se hace indispensable

cuando se requiere almacenar la fruta por períodos superiores a 3 semanas. El empleo de atmósferas modificadas en la conservación de los frutos se ha incrementado en los últimos años en países desarrollados. Una de las razones es que esta tecnología puede aplicarse a diversos tamaños de envase, desde pallets completos hasta pequeños formatos individuales. Sin embargo, hay que tener en cuenta que los niveles de O₂ y CO₂ alcanzados en el interior del envase deben encontrarse dentro del rango recomendado para esta fruta.

1.2.2.2 Bromurado

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés) exige que, para poder ingresar en el mercado norteamericano, la fruta fresca que llega desde Argentina se someta a un proceso de fumigación con bromuro de metilo (conocido como "bromurado"). Principalmente se emplea para el control de plagas cuarentenarias como por ejemplo *Ceratitis capitata* y *Anastrepha fraterculus*, mosca de la fruta (Molina y col., 2010).

El bromurado acorta la vida del producto y como el tiempo de tránsito marítimo es demasiado largo, el transporte aéreo es la mejor alternativa ya que en 24 horas el envío estará en destino, en contraposición con los 18 o 20 días que necesita para llegar por barco.

En varias oportunidades, debido a operaciones relacionadas con el diseño de la cámara y con el proceso de bromurado realizado incorrectamente, se generan importantes modificaciones en la textura de la fruta, que afecta la llegada en buenas condiciones de conservación, pudiendo ser causales de rechazo. Por lo que, para prolongar el período de aptitud de la fruta garantizando el arribo a destino con calidad adecuada para su comercialización, se efectúan modificaciones en el proceso de bromurado.

El bromuro de metilo es un biocida que permite controlar eficientemente hongos,

bacterias, virus, insectos, etc. Es un producto químico muy efectivo que se evapora en forma rápida. Las desventajas son la elevada toxicidad para el hombre y la destrucción de la capa de ozono, motivos por los cuales, se está evaluando reemplazarlo (Valeiro, 2008). Ya concluida la etapa de envasado y paletizado la fruta está en condiciones de ser bromurada. Todos los pallets deben ser ingresados a una cámara en la que, hay un incremento de temperatura para que los arándanos aumenten la tasa de respiración, y al inyectar el bromuro de metilo se elimine la posibilidad de desarrollo de la mosca de la fruta.

El bromurado consiste en una fumigación con el principio activo a una temperatura de la pulpa de 21 °C durante tres horas y media, con posterior aireación y enfriamiento hasta 0,5–1 °C. Para mantener las temperaturas durante el transporte, se colocan geles y/o mantas térmicas, y se cierra el pallet (Zapata et al., 2010). Este procedimiento cuarentenario contra la mosca de la fruta a sido dispuesto por el ente fiscalizador de ese país (USDA/APHIS) para Argentina, Chile y Uruguay, reconocido y aceptado por SENASA (SENASA 601/2001, 352/2003) y el manual de tratamientos del USDA.

Este fumigante es muy peligroso y tóxico, y la manipulación debe ser muy cuidadosa para evitar y prevenir accidentes en operadores y directores técnicos responsables de la operación, propietarios de los centros de fumigación y demás trabajadores que realizan labores relacionadas.

Fases del proceso de fumigación:

- Carga de fruta y pinchado de pulpa con sensores de temperatura.
- Cerrado hermético de cámara y calentado de fruta hasta sobrepasar la temperatura mínima.
- Ingreso de datos al sistema informático de fumigación y habilitar la cámara (inicio de proceso).
- Inyección de bromuro y barrido (limpieza de cañerías con aire o nitrógeno comprimido).

- Chequeo periódico de las temperaturas y, si es necesario, calentamiento de la fruta con el sistema de calefacción.
- Tomas de muestra de gas en el interior de la cámara con el analizador de gases (fumiscopio) con niveles superiores a los mínimos establecidos e ingreso al sistema.
- Terminado el proceso, evacuación de gases con el sistema de extracción hasta un máximo de 500 ppm (según legislación). Cuando se alcanza 0 ppm, se continúa evacuando por media hora y se procede a la descarga.
- Luego del bromurado es importante bajar rápidamente la temperatura de la pulpa de fruta a 0 °C para evitar un rápido deterioro. Para ello, es necesario ingresar los pallets en túneles de frío y dejarlos reposar durante dos horas.
- Finalmente, alcanzada la temperatura deseada, la fruta se retira de los túneles de frío, se almacena en la cámara de frío y se espera su despacho hacia el aeropuerto internacional Ezeiza. (De Domini, 2013).

En la figura 1.4 se observa el interior de una cámara de bromurado.



Figura 1.4. Cámara de fumigación.

1.2.2.3 Irradiación

La irradiación de alimentos es un método físico de conservación que presenta interesantes beneficios pues prolonga el tiempo de comercialización de los productos y mejora la calidad higiénico-sanitaria de los mismos. La radiación se puede definir como la emisión y propagación de energía a través del espacio o de un medio material.

En la figura 1.5 se observa una representación del espectro electromagnético

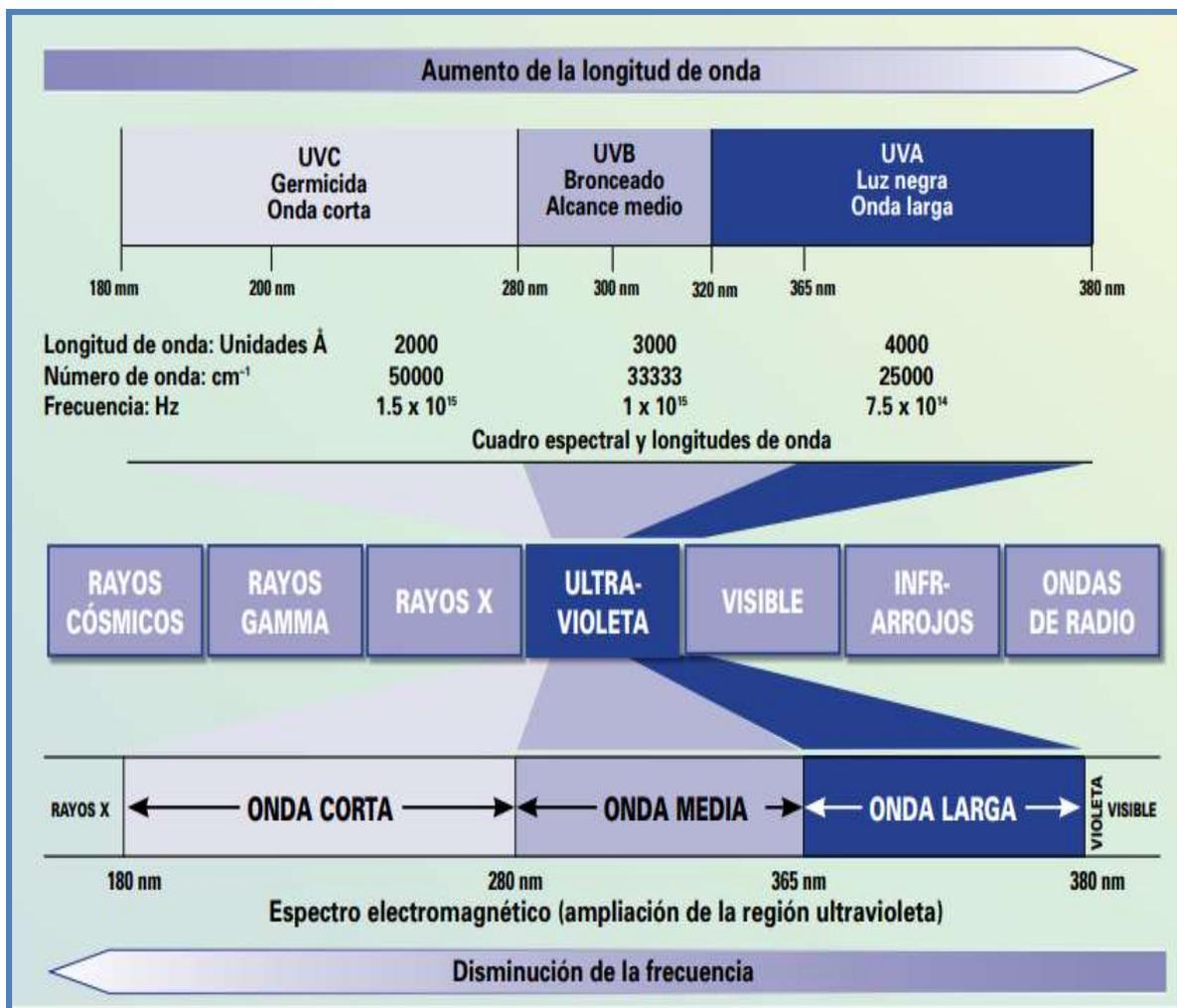


Figura 1.5. Espectro electromagnético.

Durante la investigación encaminada a descubrir procedimientos nuevos y más eficaces para conservar alimentos, se ha prestado especial atención al posible empleo de ondas de distintas longitudes de onda del espectro electromagnético, que se pueden clasificar en ondas radiales, microondas, espectro infra rojo, espectro de luz visible, rayos X y rayos gamma (Koutchma et al., 2009).

Las ondas electromagnéticas pueden caracterizarse por su longitud, frecuencia o energía. Los tres parámetros se relacionan entre sí. Cada uno de ellos condiciona el efecto del campo sobre un sistema biológico. Cuanto más corta es la longitud de onda, más alta es la frecuencia y la energía.

Una onda electromagnética está formada por paquetes muy pequeños de energía llamados fotones. La energía de cada fotón es directamente proporcional a la frecuencia de la onda: Cuanta más alta es la frecuencia, mayor es la cantidad de energía contenida en cada fotón.

El efecto de las ondas electromagnéticas en los sistemas biológicos está determinado en parte por la intensidad del campo y en parte por la cantidad de energía contenida en cada fotón.

La porción UV del espectro electromagnético es ampliamente utilizada por el efecto germicida.

A continuación se muestra brevemente las características de las zonas del espectro UV.

Rango	Efectos	Fuentes artificiales
UV-A (315 a 400 nm)	Produce cambios en la piel humana que conducen al bronceado	La luz de las lámparas de vapor de mercurio se puede filtrar para eliminar el espectro visible y dar una emisión que es principalmente UV-A.
UV-B (280 a 315 nm)	Produce quemaduras en la piel y eventualmente conduce al cáncer de piel	Las lámparas de vapor de mercurio y el uso de bombillas de vidrio que son transparentes a esa radiación.
UV-C (200 a 280 nm)	Inactiva eficazmente bacterias y virus. Llamado RANGO GERMICIDA.	Lámparas de mercurio diseñadas para producir energía en la región germicida (254 nm) son eléctricamente idénticas a lámparas fluorescentes, pero carecen del revestimiento de fósforo, y el uso de vidrio permite la transmisión de UV-C. La radiación por debajo de 260 nm produce ozono, el cual debe ser monitoreado evitando peligro para la salud.
UV de vacío (100 a 200 nm)	Es absorbido por casi todas las sustancias y por lo tanto puede transmitirse solo en el vacío.	

Fuente: (Sastry, 2000; Shama y Alderson, 2005; Li y Farid, 2016)

1.2.2.4 Irradiación UV

Es una alternativa sustentable con el medioambiente, la cual no deja residuos en el procesamiento de alimentos y empaque aportando a la desinfección, siendo una forma efectiva de controlar los patógenos. Es un proceso sencillo, rápido, de bajo costo de inversión, funcionamiento y mantenimiento, no térmico y de bajo consumo de energía.

La irradiación UV-C presenta un efecto germicida inherente, variando la dosis óptima con el tipo de fruta. De esta manera se promueve la resistencia a enfermedades contra una amplia gama de patógenos y se activan genes que codifican para producir proteínas relacionadas con la patogénesis (Pombo, 2011) (Xu, 2015). Lo más probable es que se logre iniciando una resistencia sistémica adquirida, acumulación de fitoalexina y un proceso fisiológico retardado relacionado con la maduración. (Usall, 2016). De esta manera las investigaciones han demostrado que la radiación UV-C podría inducir la resistencia de las frutas y hortalizas al deterioro poscosecha, así como retrasar el proceso de maduración para prolongar la vida útil e inducir la producción de compuestos bioactivos (polifenoles, antocianinas) en las frutas (Suzuki, 2015).

Hoy en día la tendencia es una disminución en el uso de los químicos, ya que pueden generar secuelas en la salud. Además, existe una tendencia internacional en regulación de procesamiento de alimentos que es cada día más exigente con los desechos tóxicos. Los desinfectantes como el ácido peracético (PAA), el ozono (O₃) y el agua electrolizada (EOW), y las tecnologías físicas como la luz pulsada (PL) y el plasma frío (CP) son alternativas potenciales al uso del cloro tradicional. Asimismo, la alta presión hidrostática (HHP) o los campos eléctricos pulsados (PEF) logran con éxito reducciones microbianas en productos derivados. Una combinación de métodos a intensidades o niveles moderados es una estrategia prometedora para aumentar la descontaminación microbiana con un impacto mínimo en la calidad del producto (Pérez-Lavalle, 2020).

Diversos estudios muestran que la irradiación UV-C es capaz de eliminar la listeria de las superficies frutales en un 99 % (Liao et al., 2017, Adhikari, 2015, Liu et al., 2015 y Pérez-Lavalle, 2020).

Además, es capaz de inactivar conidios de *Botrytis cinerea* y *Monilinia fructífera* (Marquenie et al., 2002).

Sin embargo, la aplicación de UV-C está limitada en algunos alimentos, debido a que la absorción de la radiación es proporcional al contenido de azúcares, sales, partículas suspendidas, color, tipo y concentración de la carga microbiana en el alimento. La principal desventaja que presenta es el bajo poder de penetración; por lo tanto, no es eficaz en superficies rugosas o porosas. Por otra parte, en algunos casos los microorganismos pueden revertir los efectos destructivos de la irradiación UV-C mediante mecanismos de fotoreactivación (Gómez, 2010; Arosha y Ruplal, 2018).

1.2.2.5 Luz pulsada

Se ha demostrado que los sistemas de luz ultravioleta pulsada (PUV) producen altos niveles de desinfección. Sin embargo, debido al contenido de rayos UV-A puede inducir un rápido calentamiento.

1.3 En el mercado actual

Diferentes empresas han desarrollado varios sistemas para el tratamiento de frutas, verduras y sus productos por radiación UV. La eficacia de la esterilización depende de la forma de la superficie. Los sistemas UV deben desarrollarse teniendo en cuenta las interacciones entre los microorganismos y los parámetros de la superficie, como el efecto de protección de la superficie o cualquier otra reacción bioquímica.

El equipo de radiación UV debe estar equipado con varios filtros y accesorios para filtrar la longitud de onda exacta de UV para una distribución uniforme y para optimizar la dosificación específica del producto.

A continuación, se describen los diversos sistemas UV en funcionamiento.

Food Safeilby Sanuvox

Este es un sistema continuo para desinfección de superficies desarrollado por Sanuvox, Canadá. Ofrece una solución cuando el objetivo es destruir las bacterias y hongos que se encuentran de forma natural en la superficie de la fruta o verdura, y que son los responsables de su pudrición prematura, sin dejar residuos como los tratamientos con cloro, o modificaciones como la irradiación con rayos gamma. Este tratamiento de frutas y verduras reduce significativamente la necesidad de pesticidas. Incorpora accesorios UV en la línea de producción (es decir, sobre cintas transportadoras) para tratar el producto antes del empaque (Sanuvox, 2017). Las lámparas UV FoodSafe IL están recubiertas de teflón para garantizar que no se escape ningún contenido en caso de rotura de la lámpara, lo que garantiza la seguridad alimentaria. Los reflectores parabólicos son una parte integral del sistema para la distribución uniforme del flujo UV y la exposición de toda la superficie del alimento a tratar. Esta configuración asegura un tratamiento completo con un bajo costo de mantenimiento. Dependiendo del uso, la lámpara debe reemplazarse una vez cada 2 años.

Smartclean UV

Smartclean UV es una solución de marca registrada de OptiMin UV. Las lámparas UV están instaladas en túneles de acero inoxidable por donde pasan las frutas y verduras. Este tratamiento se proporciona inmediatamente después del envasado y se puede personalizar de acuerdo con los requisitos del fabricante. Generalmente, para los procedimientos de descontaminación, se utilizan tubos UV de baja presión como fuente de UV-C, que tienen una emisión monocromática máxima a la longitud de onda de 254 nm, o alternativamente, se pueden utilizar tubos UV de presión media, que producen una luz policromática en un espectro de frecuencia más amplio. Su potencia oscila entre los 10 W y los 25 kW.

Sistemas Reyco

El equipo desarrollado por Reyco Systems se basa en el efecto bactericida de UV-C (patente pendiente). Básicamente consiste en un tambor giratorio de acero inoxidable, donde los productos son volteados y expuestos a la radiación ultravioleta en toda su superficie antes del envasado, inactivando así los contaminantes microbianos de la superficie (Reyco® systems, 2017; Guerrero-Beltrán y Barbosa-Cánovas, 2004).

Calculadora UV-C

Synertech es la única empresa que cuenta con un software profesional para los sistemas de desinfección ultravioleta. La calculadora UV-C para desinfección ultravioleta cuenta con varias funciones: potencia, tipo de microorganismo, microorganismo, Dosis (J/m^2), distancia (m), tiempo recomendado (min) la cual permite al usuario operar de manera rápida y sencilla. La tabla de cálculo permite determinar el tiempo de radiación ultravioleta recomendado según la potencia de las lámparas ultravioleta y el tipo de microorganismo a destruir. Las lámparas de desinfección ultravioleta de baja presión de mercurio son las únicas avaladas a nivel mundial para implementarse en 254 nm como el rango de radiación científicamente certificado para la desinfección.

1.4 Aspectos reglamentarios

1.4.1 Código Alimentario Argentino

En la actualidad, el proceso de irradiación de alimentos se aplica en 52 países dentro de los cuales se encuentra la Argentina. En nuestro país, el Código Alimentario Argentino (CAA), en su artículo 174, legisla sobre los aspectos generales, específicamente sobre radiaciones ionizantes.

En Argentina, las disposiciones higiénico-sanitarias y bromatológicas, y la identificación comercial del Reglamento Alimentario quedan legisladas a partir de

la Ley N° 18.284, con la denominación de Código Alimentario Argentino (CAA) (Ley 18.284, Art. 1). Esta ley tiene jurisdicción en todo el país (Ley 18.284, Art. 2) y los entes nacionales encargados de su cumplimiento son la Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica (ANMAT), organismo descentralizado de la Administración Pública Nacional y el Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA), organismo descentralizado, autárquico y dotado de personería jurídica, dependiente del Ministerio de Agroindustria de la Nación.

En el CAA solo se contempla brevemente el uso de UV en aguas (Capítulo XII) donde se menciona que puede utilizarse como tratamiento para conservar o mejorar sus características físicas, químicas, microbiológicas o sensoriales, sin especificar límites de tratamiento o regulación alguna.

Sobre radiaciones ionizantes, sin embargo, se detallan sus usos y condiciones en el Capítulo III, Art. 174. En el mismo se entiende por conservación con radiación ionizante o energía ionizante, someter los alimentos a la acción de radiación electromagnética o partículas de alta energía. Autoriza la irradiación de 8 clases de alimentos, mostrados a continuación:

CLASE DE ALIMENTOS Y PROPÓSITO DE LA IRRADIACIÓN	LÍMITE MÁXIMO (kGy)
CLASE 1 - BULBOS, TUBÉRCULOS Y RAÍCES	
Propósito:	
Inhibir la brotación durante el almacenamiento.	0,2
CLASE 2 – FRUTAS Y VEGETALES FRESCOS (distintos de los de la Clase 1)	
Propósitos:	
a) Retrasar la maduración.	1,0
b) Desinfestación de insectos.	1,0
c) Control de microorganismos alterantes.	2,5
d) Control cuarentenario.	1,0
CLASE 3 – CEREALES Y SUS HARINAS, LEGUMBRES, SEMILLAS OLEAGINOSAS, FRUTAS SECAS	
Propósitos:	
a) Desinfestación de insectos.	1,0
b) Control de microorganismos alterantes y patógenos.	5,0
CLASE 4 – VEGETALES Y FRUTAS DESECADOS O DESHIDRATADOS, CONDIMENTOS VEGETALES(*), TE Y HIERBAS PARA INFUSIONES	
Propósitos:	
a) Control de microorganismos patógenos.	10
b) Desinfestación de insectos.	1,0

CLASE 5 – HONGOS DE CULTIVO COMESTIBLES, FRESCOS	
Propósitos:	
a) Control de microorganismos alterantes.	3,0
CLASE 6 – PESCADOS Y MARISCOS, Y SUS PRODUCTOS (FRESCOS Y CONGELADOS)	
Propósitos:	
a) Control de microorganismos alterantes y patógenos.	5,0 (**)
b) Control de parásitos.	2,0 (***)
CLASE 7 – AVES, CARNES BOVINA, PORCINA, CAPRINA, OTROS Y SUS PRODUCTOS (FRESCOS Y CONGELADOS)	
Propósitos:	
a) Control de microorganismos alterantes y patógenos.	7,0 (**)
b) Control de parásitos.	3,0 (***)
CLASE 8 – ALIMENTOS DE ORIGEN ANIMAL DESECADOS	
Propósitos:	
a) Control de insectos.	1,0
b) Control de hongos.	3,0

1.4.2 Ley 19587- Higiene y Seguridad en el Trabajo

Decreto 351/1979, Artículo 63: trata la exposición a radiaciones no ionizantes, aunque esta se refiere a exposiciones a radiaciones ultravioletas nocivas provocadas por trabajos de soldadura o afines.

Explicita:

- En los trabajos de soldadura u otros, que presenten el riesgo de emisión de radiaciones ultravioletas nocivas en cantidad y calidad, se tomarán las precauciones necesarias. Preferentemente estos trabajos se efectuarán en cabinas individuales o compartimientos y de no ser ello factible, se colocarán pantallas protectoras móviles o cortinas incombustibles alrededor de cada lugar de trabajo. Las paredes interiores no deberán reflejar las radiaciones.
- Todo trabajador sometido a estas radiaciones será especialmente instruido, en forma repetida, verbal y escrita de los riesgos a que está expuesto y provisto de medios adecuados de protección, como ser: anteojos o máscaras protectoras con cristales coloreados para absorber las radiaciones, guantes apropiados y cremas protectoras para las partes del cuerpo que queden al descubierto.

1.4.3 Code of Federal Regulations (CFR)

El Código de Regulaciones Federales (CFR) es una codificación de las reglas generales y permanentes publicadas en el Registro Federal por los departamentos

y agencias ejecutivas del Gobierno Federal. El Título 21 del CFR está reservado para las normas de la Administración de Alimentos y Medicamentos.

Título 21 - Alimentos y drogas

Capítulo i - Administración de alimentos y drogas

Departamento de Salud y Servicios Humanos

Subcapítulo b - Alimentos para el consumo humano

Parte 179 Irradiación en la producción, elaboración y manipulación de alimentos

179.39 Radiación ultravioleta para el procesamiento y tratamiento de alimentos.

La radiación ultravioleta para el procesamiento y tratamiento de alimentos se puede utilizar de manera segura en las siguientes condiciones:

Las fuentes de radiación consisten en lámparas de mercurio de baja presión que emiten el 90 por ciento de la emisión a una longitud de onda de 253,7 nm (2.537 Angstroms).

1.4.4 Codex Alimentarius. Unión Europea

En la Norma General del Codex para los Alimentos Irradiados, Codex STAN 106-1983, rev. 1-2003 (CAC, 2003) sólo se establecen los límites y parámetros para la irradiación ionizante (generada por rayos gamma, X o electrones que funcionen a una energía igual o inferior a 10 MeV). No se considera a la radiación UV-C aunque se están realizando investigaciones a cargo de la EFSA (del inglés '*European Food Safety Authority*') sobre la seguridad del uso de UV-C en alimentos.



CAPÍTULO 2

**Caracterización física,
química y microbiológica
del fruto arándano y su
evolución temporal**

2.1 Generalidades

La evaluación de los distintos métodos de conservación de los arándanos implica realizar la caracterización física, química y microbiológica del fruto.

Las propiedades físicas como la densidad, viscosidad, índice de refracción, aumento de temperatura de ebullición, calor específico, entre otras se ven afectadas por el contenido de sólidos solubles y la temperatura. El conocimiento de las propiedades físicas es necesario para el diseño eficiente de equipos de la industria (De Moura et al., 1998).

Conocer la viscosidad del jugo de arándano permite determinar las tasas de transferencia de calor, el consumo de energía con el aumento de la concentración, y controlar la temperatura y los caudales para asegurar el flujo continuo del producto (Nindo, 2005).

Los arándanos son frutos climatéricos, es decir que, cosechados a partir de la madurez fisiológica, son capaces de adquirir características similares a los que maduraron unidos a la planta. Cuando estos frutos alcanzan la madurez fisiológica comienzan a producirse numerosos cambios de color, firmeza y sabor, relacionados con las características organolépticas, que los hace finalmente más atractivos para el consumo.

Sin embargo, una vez alcanzado el estado de máxima calidad, sobreviene muy rápidamente el de sobre-madurez, asociado a un excesivo ablandamiento, pérdida de sabor y de color, que debe ser evitado. La velocidad con la que ocurre la pérdida de calidad posterior a la cosecha está relacionada fundamentalmente con la temperatura, y por ello, un adecuado manejo de la misma a partir de la cosecha contribuye notablemente a mantener la calidad de la fruta.

Con temperaturas de 4 °C y 5 °C los arándanos tienen una tasa respiratoria considerada baja a moderada, que se eleva considerablemente a temperatura ambiente. Cuanto mayor es la tasa respiratoria, más rápido se producen los

cambios involucrados en la maduración y en la pérdida de calidad. (García Rubio, 2014).

De allí la importancia de conocer la evolución temporal de los parámetros nutricionales y organolépticos en la fruta fresca para optimizar las operaciones de cosecha, procesamiento, teniendo presente el período de vida útil y de comercialización. Los arándanos son comercializados en diversas formas, en especial como productos frescos y congelados. Si bien el uso de frío puede detener procesos enzimáticos y el desarrollo de microorganismos, se conoce también que esta tecnología podría alterar la composición química de los frutos y en especial las propiedades antioxidantes (Lohachompol et al., 2004).

La variación de polifenoles totales en berries depende de diversos elementos como condiciones ambientales, grado de madurez, variedad del cultivo, almacenamiento y procesamiento de las frutas (Vollmannová et al., 2009). Una posible explicación del aumento en el contenido de polifenoles en berries almacenados a bajas temperaturas es que, durante la congelación, los compuestos fenólicos son más fácilmente extraíbles, lo cual es generado por la degradación de estructuras celulares durante el almacenamiento (Bakowska-Barczak, 2008) y la reducción de la actividad oxidativa de las enzimas (en consecuencia menor degradación de estos componentes) sea una de las razones por la cual en los berries almacenado a bajas temperaturas haya mayor contenido de polifenoles totales que en los frescos. (Bouzari et al., 2015).

2.2 Espectroscopía Ultravioleta-Visible (UV-Vis)

La espectrofotometría es un método utilizado para la identificación y cuantificación de sustancias caracterizada por precisión, sensibilidad y simplicidad. Se basa en la capacidad de las moléculas de absorber radiaciones electromagnéticas de longitudes de onda situadas en una banda definida y estrecha, en este caso, UV-Vis. La región espectral empleada en las mediciones se

extiende desde las longitudes de onda corta de la zona ultravioleta (190 nm a 380 nm) hasta la visible (380 nm a 780 nm) del espectro.

Las longitudes de onda de las radiaciones que una molécula puede absorber y la eficiencia con la que se absorben dependen de la estructura atómica y de las condiciones del medio (pH, temperatura, fuerza iónica, constante dieléctrica), por lo que dicha técnica constituye un valioso instrumento para la determinación y caracterización de biomoléculas.

Las moléculas pueden absorber energía lumínica y almacenarla en forma de energía interna. Esto permite poner en funcionamiento ciclos vitales como la fotosíntesis en plantas y bacterias. Cuando la luz es absorbida por una molécula se origina una transición desde un estado energético basal o fundamental E_1 a un estado de mayor energía (estado excitado) E_2 , y sólo se absorberá fotones de energía que permitan la transición al estado excitado. Cada especie molecular posee una serie de estados posibles. Como consecuencia, la absorción que a distintas longitudes de onda presenta una molécula representa la identidad de la misma. Posteriormente la molécula se relaja mediante distintos mecanismos (vibración, rotación, etc.) y finalmente emite un fotón para regresar al estado fundamental.

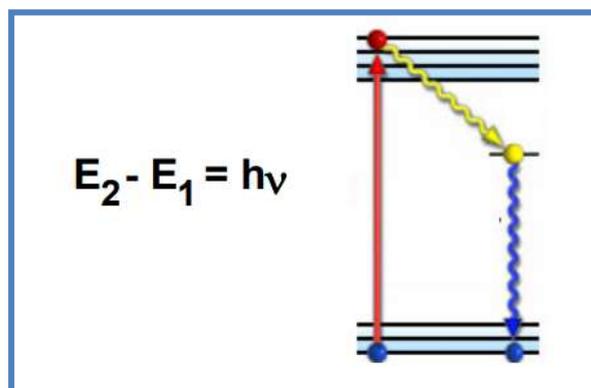


Figura 2.1. Diagrama esquemático de niveles de energía en una molécula.

La región UV está en el rango de longitudes de onda de 195 a 400 nm, son de elevada energía y al interactuar con el tejido pueden provocar lesiones severas. Los compuestos con dobles enlaces aislados, triples enlaces, enlaces peptídicos, sistemas aromáticos, grupos carbonilos y otros heteroátomos tienen su máxima absorbancia en la región UV, por lo que la espectroscopía de absorción UV-Vis es muy importante para la determinación cualitativa y cuantitativa de compuestos orgánicos. Diversos factores -como pH, concentración de sal y el disolvente- que alteran la carga de las moléculas, provocan desplazamientos de bandas en los espectros UV.

La fuente de radiación ultravioleta en los equipos comerciales es una lámpara de deuterio.

En ocasiones se aprecia el color de una solución y esto corresponde a las longitudes de onda de luz (región visible del espectro electromagnético) que transmite. El color que absorbe es el complementario del color que transmite. Por lo tanto, para realizar mediciones de absorción utilizar la longitud de onda en la que absorbe luz la solución coloreada.

La fuente de radiación visible de los equipos comerciales suele ser una lámpara de tungsteno.

Transmitancia y absorbancia

Cuando un rayo de luz de una determinada longitud de onda de intensidad (I_0) incide perpendicularmente sobre una disolución de un compuesto químico que absorbe luz o cromóforo, el compuesto absorberá una parte de la radiación incidente (I_a) y dejará pasar el resto (I_t), de forma que se cumple: $I_0 = I_a + I_t$

La transmitancia (T) de una sustancia en solución es la relación entre la cantidad de luz transmitida que llega al detector una vez que ha atravesado la muestra (I_t)

y la cantidad de luz que incidió sobre ella (I_0) y se representa normalmente en tanto por ciento: $\% T = I_t/I_0 \times 100$.

La transmitancia da una medida física de la relación de intensidad incidente y transmitida al pasar por la muestra. La relación entre $\%T$ y la concentración de la solución es logarítmica inversa.

La absorbancia (A) de la muestra indica la cantidad de luz absorbida por la misma, y se define como el logaritmo de $1/T$, en consecuencia:

$$A = \log 1/T = -\log T = -\log I_t/ I_0 \quad (\text{ec. 2.1})$$

Cuando la intensidad incidente y transmitida son iguales ($I_0 = I_t$), la transmitancia es del 100% e indica que la muestra no absorbe a una determinada longitud de onda, y entonces A vale $\log 1 = 0$.

En la figura 2.2 se muestra un esquema del espectrofotómetro UV-Vis para un instrumento de doble haz. La lámpara de tungsteno emite luz visible mientras que la lámpara D2 genera luz ultravioleta.

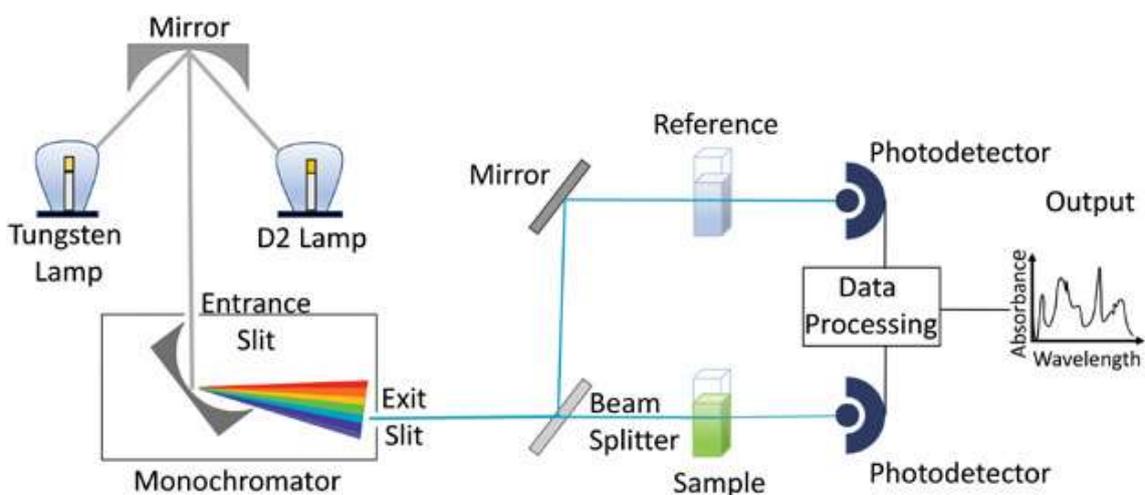


Figura 2.2. Esquema del espectrofotómetro UV-Vis.

La radiación electromagnética se dirige a un monocromador que permite seleccionar las longitudes de onda que incidirán en la muestra (Rocha, 2018).

Los fenoles absorben en la región ultravioleta (UV). En el caso de los fenoles de tipo flavonoides se presentan 2 bandas de absorción características (Merken, 2000) la banda del anillo aromático A con un máximo de absorción en el rango 240-285 nm (banda benzoil) y otra banda del anillo B con máximo de absorción en el rango 300-550 nm (banda cinamoil).

2.3 Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos constituyen un amplio grupo de sustancias químicas distribuidas en el reino vegetal, con diferentes estructuras químicas y actividades. Estas sustancias son biosintetizadas por los vegetales como productos de su metabolismo secundario (Fabiani, 2012) y, por lo tanto, están presentes también en la dieta (Balasundram, 2006), por lo que han despertado un gran interés desde el punto de vista nutricional y a su vez desde el enfoque de protección y prevención de enfermedades asociadas al estrés oxidativo (Ignat, 2011; Ovaskainen, 2008). Las características fisicoquímicas de estos compuestos les permiten participar en distintas reacciones metabólicas celulares durante los procesos de óxido-reducción (Quiñones, 2012). Estos efectos beneficiosos son atribuidos a su capacidad antioxidante (Balasundram, 2006; Quiñones, 2012).

Existen alrededor de 8.000 estructuras fenólicas identificadas, las cuales varían y se clasifican según su estructura, en ácidos fenólicos, flavonoides, estilbenos, lignanos, cumarinas y polímeros fenólicos (Ignat, 2011; Craft, 2012; Manach, 2004). Su contribución a la pigmentación de los alimentos vegetales está claramente conocida, a través de las antocianinas, responsables de los colores rojo, azul, violeta y púrpura de la mayoría de las plantas y de sus productos (Tabart, 2006).

El contenido de polifenoles de los alimentos puede verse afectado por diversos factores como la exposición a luz, factores ambientales como respuesta a patógenos, temperatura de almacenamiento, procesamiento y métodos culinarios (por ejemplo, el pelado de frutas y verduras puede eliminar una parte significativa de polifenoles pues en algunos casos las mayores concentraciones se encuentran en las partes externas del fruto), maduración en el momento de la cosecha, entre otros (Anticono, 2015).

Estructura química. Características generales

La estructura química de los compuestos fenólicos consiste en al menos un anillo aromático con un grupo variable de grupos hidroxilos, que determinan su capacidad antioxidante (Balasundram et al., 2006; Khoddami et al., 2013), ya que estos grupos ceden electrones o átomos de hidrógeno neutralizando los radicales.

Compuestos fenólicos en arándanos

El grupo más importante de compuestos fenólicos en los berries son los flavonoides, que consisten principalmente en antocianidinas, flavonoles, proantocianidinas (taninos condensados), flavonas y sus glicósidos. Todos ellos comparten el mismo esqueleto básico, el núcleo flavan, que consta de dos anillos aromáticos (anillo A y B) con seis átomos de carbono interconectados por un heterociclo incluyendo tres átomos de carbono (anillo C) (Stalikas, 2007; Wang, 2007). En una especie vegetal única, docenas de diferentes flavonoides pueden estar presente y algunos de estos se conjugan con diversos azúcares (Wang, 2007). Los distintos tipos de flavonoides se diferencian por la variación en el número y la disposición de los grupos hidroxilo, así como de la naturaleza y grado de alquilación y glicosilación de estos grupos (Rice-Evans et al., 1996). También existen en los berries una gran cantidad de fenoles distintos a los flavonoides, como los taninos hidrolizables, ácidos fenólicos (hidroxibenzoicos e

hidroxicinámicos), ligninas, entre otros (Kähkönen et al., 1999, Ramírez et al., 2015, Ruiz et al., 2015).

En la figura 2.3 se aprecian las estructuras de compuestos fenólicos en los berries

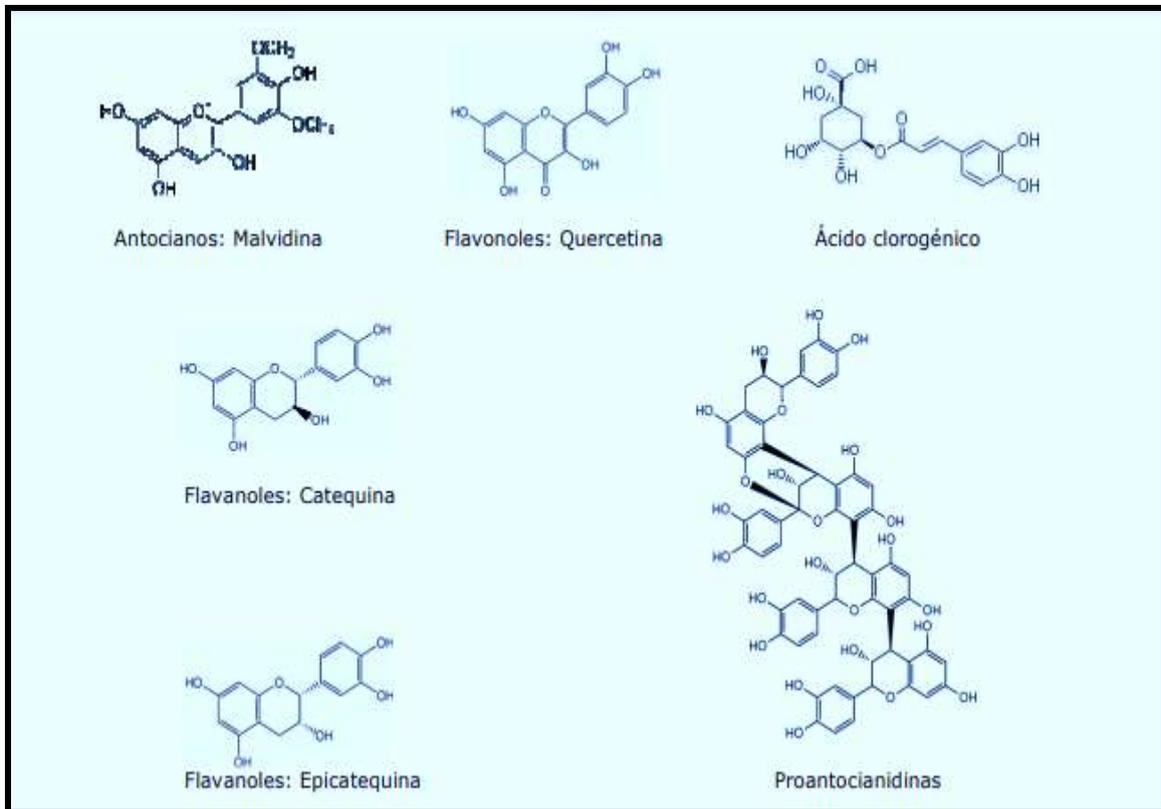


Figura 2.3. Estructura de las agliconas mayoritarias correspondientes a cada una de las familias de compuestos fenólicos presentes en los frutos arándanos. (Vázquez-Castilla, 2012)

Se han identificado antocianinas como: malvidina, delfinidina, cianidina, petunidina y peonidina, siendo los derivados de la malvidina los mayoritarios. El perfil de flavonoides consiste en tres grupos de glicósidos de flavonoles, derivados de las agliconas queretana (mayor porcentaje), mirecetina y kaemferol. En cantidades significativas se encuentra el ácido clorogénico, además el ácido ferúlico, p-cúmarico y pterostilbeno en menores cantidades. Las procianidinas presentes son del tipo proantocianidinas. (Vázquez-Castilla, 2012)

2.4 Medición de la actividad antioxidante

La actividad antioxidante puede determinarse por los efectos del compuesto en un proceso de oxidación controlado. Hay numerosos métodos publicados que determinan la capacidad antioxidante total *in vitro*. Un inconveniente es la falta de métodos estándares de cuantificación que puedan, de manera fidedigna, medir la capacidad antioxidante de los alimentos y muestras biológicas debido a la complejidad de las mismas (Gozzi, 2011). No hay un único criterio de evaluación, donde los mecanismos de reacción, los procedimientos de los ensayos y las unidades en las que se informa la capacidad o actividad antioxidante, son muy diferentes (Huang et al., 2005; Apak et al., 2007).

La mayoría de los ensayos para determinar la capacidad antioxidante con base a las reacciones químicas, pueden ser divididos en dos categorías:

- (1) Ensayos basados en la reacción por transferencia de átomos de hidrógeno (Huang et al., 2005).
- (2) Ensayos basados en la reacción por transferencia de electrones (Huang et al., 2005).

Ensayos basados en reacciones de transferencia de átomos de hidrógeno (HAT)

La mayoría de los ensayos HAT están basados en cinética e involucran un esquema de reacción competitiva en el cual el antioxidante y el sustrato compiten por un radical peroxilo generado térmicamente a través de la descomposición de compuestos azo.

Estos ensayos HAT miden la capacidad de un antioxidante de capturar radicales libres donando un átomo de hidrógeno, de acuerdo con la siguiente reacción general siendo $\text{ROO}\bullet$ el radical libre y AH el antioxidante:



Mecanismos de reacción por transferencia de átomos de hidrógeno

(Huang et al., 2005)

El nuevo radical formado es mucho más estable que el inicial. En este caso las especies AH y ArOH representan a biomoléculas protegidas y a antioxidantes respectivamente, que pueden reaccionar con los radicales libres. Los radicales formados por el antioxidante son estabilizados por resonancia.

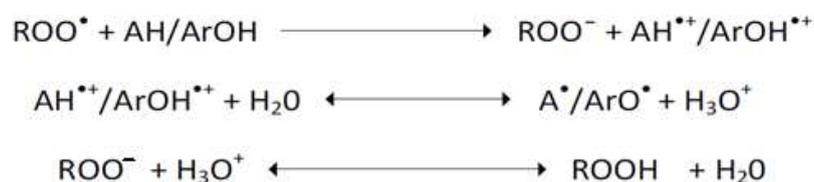
Los antioxidantes fenólicos (ArOH), para ser efectivos, necesitan reaccionar más rápido con los radicales libres que las biomoléculas para prevenir la oxidación de estas últimas.

En general las reacciones HAT son relativamente independientes del solvente y efectos del pH, y se completan en corto tiempo (segundos-minutos) (Gozzi, 2011).

Ensayos basados en la transferencia de electrones (ET)

Los ensayos ET miden la capacidad de un antioxidante de reducir a un oxidante monitoreando el cambio de color a medida que avanza la reacción redox.

Los mecanismos de los ensayos ET están basados en las siguientes reacciones generales:



Mecanismos de reacción por transferencia de electrones

(Huang et al., 2005)

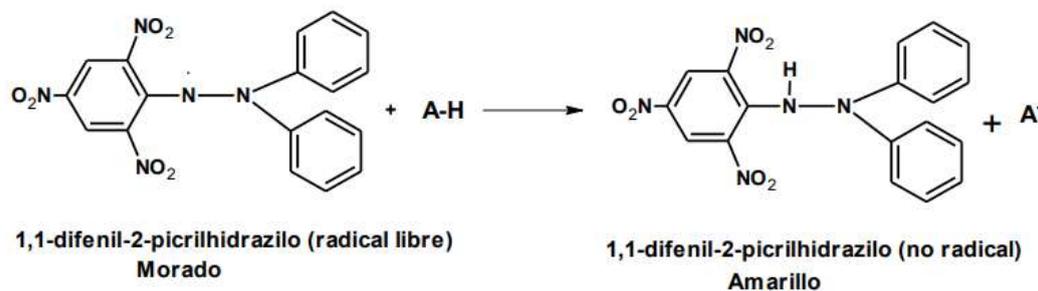
Estos ensayos generalmente tienen un tiempo fijo definido para la reacción redox involucrada, y miden la conversión termodinámica (oxidación) durante ese tiempo. Las reacciones son relativamente más lentas que las de los ensayos HAT

y son solvente y pH dependientes, aunque de simple implementación.

Entre los ensayos de captación de radicales libres, el método DPPH es el más rápido, es simple (pocos pasos) y de menor costo en comparación con otros modelos.

Ensayo del DPPH (1,1-difenil-2-picril-hidrazilo)

La molécula 1,1-difenil-2-picril-hidrazilo (DPPH) es un radical libre estable debido a la deslocalización de un electrón desapareado sobre la molécula completa, con ello no se dimeriza e intensifica el color violeta intenso típico del radical, el cual absorbe radiación UV en metanol a 517 nm. Cuando la solución de DPPH reacciona con el sustrato antioxidante que puede donar un átomo de hidrógeno, el color violeta se desvanece. El cambio de color es usado para la determinación de las propiedades antioxidantes.



Estructura de DPPH antes y después de la reacción con el antioxidante

(Alam et al., 2012)

A medida que se produce la reacción con el antioxidante, el color cambia de violeta a amarillo por la formación de DPPH. Esta reacción es estequiométrica respecto de la cantidad de hidrógenos sustraídos (Moon y Shibamoto, 2009).

El porcentaje de DPPH remanente puede ser calculado como (Prior et al., 2005):

$$\% \text{ DPPH}^{\bullet}_{\text{REM}} = 100 \times [\text{DPPH}^{\bullet}]_{\text{REM}} / [\text{DPPH}^{\bullet}]_{\text{T=0}} \quad (\text{ec. 2.2})$$

El porcentaje de $\text{DPPH}^{\bullet}_{\text{REM}}$ es inversamente proporcional a la concentración del antioxidante, y la concentración de antioxidante que causa la disminución en un 50% de la concentración inicial del radical DPPH, se denomina EC50. El tiempo necesario para llegar al estado de equilibrio utilizando una concentración de antioxidante igual a EC50, se define como TEC50.

También es frecuente expresar la actividad de una muestra para atrapar el radical DPPH como:

$$\% \text{ inhibición} = [(A_{\text{DPPHi}} - A_{\text{DPPHm}}) / A_{\text{DPPHi}}] \times 100 \quad (\text{ec. 2.3})$$

Donde:

A_{DPPHi} es la absorbancia de la concentración inicial del radical DPPH a tiempo cero.

A_{DPPHm} es la absorbancia de la concentración del radical DPPH luego de reaccionar con la muestra, en un tiempo de reacción definido.

Contenido de fenoles totales por el reactivo de Folin-Ciocalteu (F-C)

El ensayo de Folin-Ciocalteu (F-C) es un método comúnmente utilizado en el área de agroquímica e industrias alimenticias, por su simplicidad, por la disponibilidad comercial del reactivo y por ser un procedimiento ya estandarizado (Singleton et al., 1999).

El reactivo de Folin-Ciocalteu (RFC) contiene molibdato y tungstato sódico, que reaccionan con cualquier tipo de fenol, formando complejos fosfomolibdico-fosfotúngstico. La transferencia de electrones a pH básico reduce los complejos fosfomolibdico-fosfotúngstico en óxidos, cromógenos de color azul intenso, de tungsteno (W_8O_{23}) y molibdeno (Mo_8O_{23}), siendo proporcional este color al número de grupos hidroxilo de la molécula.

RFC mide la capacidad reductora de una muestra, lo que no se ve reflejado en el nombre del método, a través de la siguiente reacción general:



Reacción de transferencia de electrones con el reactivo de Folin Ciocalteu
(Huang et al., 2005)

El agente oxidante es el heteropoliácido molibdofosfotúngstico $3\text{H}_2\text{O} \cdot \text{P}_2\text{O}_5 \cdot 13\text{WO}_3 \cdot 5\text{MoO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, siendo hipotéticamente el centro activo el Mo(VI), con una $\lambda_{\text{max}} = 765 \text{ nm.}$, correspondiente al pico de absorción.

El RFC no es un reactivo específico para los compuestos fenólicos ya que puede reducir muchos compuestos no fenólicos (vitamina C, Cu (I), etc.). Los compuestos fenólicos reaccionan con el FCR sólo bajo condiciones alcalinas (pH ~ 10 , ajustado con carbonato de sodio). La disociación de un protón fenólico conduce a la formación de un anión fenolato, que es capaz de reducir al RFC. Esto apoya la noción de que la reacción ocurre a través de un mecanismo de transferencia de electrones (ET). Los compuestos azules formados entre el fenolato y el reactivo de Folin-Ciocalteu son independientes de la estructura de los compuestos fenólicos, descartando la posibilidad de formación de complejos entre el centro metálico y estos compuestos.

Los resultados suelen expresarse como equivalentes en ácido gálico por unidad de muestra ó también en equivalentes de catequina, utilizando estos patrones para construir una curva de calibración.

A pesar de la naturaleza química indefinida del ensayo de FC, la determinación de fenoles totales por este método es conveniente, simple y reproducible. Como resultado se han acumulado gran cantidad de datos y se ha convertido en un ensayo de rutina en el estudio de antioxidantes fenólicos (Huang et al., 2005; Tabart et al., 2009).

En este capítulo se muestran los principales componentes del fruto, analizando la posibilidad de extraer los componentes para ser utilizados en industrias derivadas, dando así un mayor valor agregado a la producción local del fruto. Se evaluó propiedades físicas, químicas y microbiológicas, tales como la densidad, viscosidad, índice de refracción, grados Brix, compuestos fenólicos totales, antocianinas, humedad, cenizas, fibra dietaria y recuento total de hongos. Además, se propone conocer la evolución temporal del jugo del fruto arándanos conservados en condiciones de luz natural a temperatura ambiente (temperatura promedio 15 °C) y presión atmosférica promedio 978 hPa y conservados en la heladera a 4 °C. Se usará como método de evaluación dinámico la espectroscopia UV-Vis.

2.5 Materiales y métodos

En los diferentes ensayos se utilizó frutos arándanos, variedad Jewell provistos por el empaque "Tierra de Arándanos S.R.L.", ubicado en Orán, Monteros provincia de Tucumán cosechados en el mes de octubre. Los mismos fueron conservados a -18 °C durante 180 días hasta el momento de su análisis.

Para la caracterización física, química y microbiológica del fruto arándanos se realizaron las siguientes actividades:

- Determinación de humedad, cenizas y fibra dietaria.
- Determinación de densidad, viscosidad e índice de refracción.
- Determinación de la actividad antirradicalaria.
- Determinación de compuestos fenólicos totales
- Determinación de la composición de las antocianinas del jugo de arándanos por HPLC.
- Espectro Ultravioleta-Visible. Evolución temporal.
- Espectroscopia Infrarroja y Raman del jugo de arándanos
- Determinación de unidades formadoras de colonias.

Determinaciones y técnicas analíticas empleada

Preparación de las muestras

Los frutos arándanos fueron seleccionados y recolectados manualmente, evitando aquellos que presentaban daños causados por insectos y otros factores como la humedad debido a la lluvia de la época.

Para reducir el deterioro postcosecha, los frutos inmediatamente recolectados fueron colocados en bandejas de polietilentereftalato (clamshells) y almacenados a $(4 \pm 0,5) ^\circ\text{C}$ hasta ser transportados al laboratorio, donde se desecharon impurezas, posteriormente fueron conservados a $-18 ^\circ\text{C}$ durante 180 días hasta ser sometidos a ensayo.

Determinación del contenido de humedad

Se realizó por método de secado que incluye la pérdida de peso debida a la evaporación de agua a la temperatura de ebullición o cerca de esta.

Se colocó 1 g de muestra en un pesafiltro previamente tarado. Se llevó a secado en estufa a una temperatura inferior a $70 ^\circ\text{C}$ hasta obtener un peso constante, siguiendo la metodología de la AOAC 950.27 (2005).

La determinación del contenido de humedad se realizó por triplicado, empleando la siguiente ecuación para su cálculo:

$$\% \text{ Humedad} = (\text{PH} - \text{PS})/\text{PH} * 100 \quad (\text{ec. 2.4})$$

Siendo: PH: *Peso de la muestra húmeda* PH

PS: *Peso de la muestra seca* PS

Determinación de cenizas

Para realizar esta determinación se colocaron 1,5 gramos de muestra de fruto arandano en una cápsula de porcelana, previamente calcinada y tarada. La muestra se calentó sobre manta de calentamiento hasta residuo negro. Se llevó a

mufla y se calcinó a 500 °C, hasta cenizas blancas. El contenido de cenizas se calculó por diferencia de peso y el valor se expresó como porcentaje de cenizas, según metodología de la AOAC 923.03 (2005). Las determinaciones se realizaron por triplicado obteniéndose como resultado final un promedio de las mismas.

Determinación de fibra dietaria

La fibra dietética total FDT esta conformada por la suma de la fracción insoluble FDI (celulosa, gran parte de las hemicelulosas y ligninas), y soluble FDS (pectinas, gomas, mucílagos y ciertas hemicelulosas), que presentan en general roles fisiológicos diferentes. La fibra insoluble tiene una mayor injerencia en aumentar el volumen de la deposiciones y disminuir el transito intestinal y la fibra soluble se la relaciona con su acción sobre el metabolismo de hidratos de carbono y lípidos (Pak, 2000).

La fibra dietaria alimentaria o dietaria cumplen la función de ser la parte estructural de las plantas y, por lo tanto, se encuentran en todos los alimentos derivados de los productos vegetales como verduras, frutas, cereales y legumbres.

Se utilizó el método enzimático-gravimétrico según AOAC (2000), basado en el método de Prosky (Prosky, 1984). Una muestra exenta de grasa se digiere, en pasos sucesivos, con distintas enzimas (amilasa, proteasa y amiloglucosidasa). El residuo obtenido después de la filtración, menos su contenido en proteínas y cenizas, se considera igual a la fibra dietaria insoluble. El filtrado fue tratado con alcohol a fin de lograr la precipitación de la fibra soluble, valor que se corrigió según el contenido de proteína y cenizas. La fibra dietaria total se calculó en base a la suma de ambas fracciones.

Los procedimientos fueron realizados por triplicado tanto para determinación de fibra dietaria total como para determinación de fibra dietaria insoluble.

Determinación de densidad

A partir del jugo perfectamente filtrado de 20 frutos de arándanos se midió la densidad con un densímetro de tubo vibrante KEM DA-300 con unidad termostática incorporada, precisión de 0,01 K, cuyo rango de trabajo es 277 a 363 K. Se usó agua bidestilada y aire seco como sustancias de calibración (Campos, 2008). Se realizó 3 mediciones para cada temperatura, obteniéndose un promedio de la densidad.

Determinación de viscosidad

A partir del jugo perfectamente filtrado de 20 frutos de arándanos se midió la viscosidad empleando un Viscosímetro de tubo capilar: viscosímetro Schott-Geräte AVS 400, calibrado por el fabricante, el cual determina el tiempo requerido para que un volumen dado de un líquido escurra, a través de un capilar. Este se denomina viscosímetro de Ostwald. Se realizó 3 mediciones para cada temperatura, obteniéndose un promedio de la viscosidad.

Determinación de índice de refracción

Se determinó a partir del zumo de 20 frutos, usando Refractómetro digital automático Leica AR600, calibrado por el fabricante. Se realizó 3 mediciones para cada temperatura, obteniéndose un promedio de índice de refracción.

Las precisiones fueron de 0,0001 kg.m⁻³ para densidad, 0.00005 para índice de refracción, y 0,001 mPa.s para viscosidad

Sólidos solubles (°Brix):

Se determinó a partir del zumo de 20 frutos usando un refractómetro digital automático Leica AR600, calibrado por el fabricante. Se realizó 3 mediciones para cada temperatura, obteniéndose un promedio de los grados Brix.

Determinación de la actividad antirradicalaria

Se determinó la actividad antirradicalaria en la cáscara y en el jugo de arándanos conservados durante 6 meses a -18 °C. Para ello se empleó el bioensayo “in vitro” del radical DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidracilo) de acuerdo a lo reportado en literatura (Tapia et al., 2004) donde se cuantifica la capacidad de captura de radicales libres que poseen distintos extractos, mediante la determinación del grado de decoloración que provocan a una solución etanólica del radical.

Se preparó una solución etanólica fresca del radical DPPH, pesando 2 mg de DPPH en un matraz aforado previamente tarado y se disolvió en 100 mL de etanol, alcanzando una concentración final de 20 mg/L (se mantuvo siempre en oscuridad). Se preparó soluciones etanólicas de los compuestos a ensayar a concentraciones de 100, 50 y 10 mg/L tanto de la cáscara como el jugo. Las soluciones de DPPH y disoluciones etanólicas de las muestras y compuestos ensayados se mezclaron, fueron llevados a baño 30 °C durante 30 minutos a fin de lograr uniformar las temperaturas de trabajo. Transcurrido ese tiempo se leyó la absorbancia a 517 nm con espectrofotómetro.

Los datos de absorbancia para los extractos y/o compuestos ensayados fueron reemplazados en la ecuación:

$$\% \text{ decoloracion} = \left(1 - \frac{A_c}{A_b}\right) * 100 \quad (\text{ec. 2.4})$$

Donde:

Ac: absorbancia del compuesto

Ab: absorbancia del blanco de ensayo (control)

A partir del porcentaje de decoloración se determinó la capacidad captadora de radicales libre. Un valor igual a 100 (cien) corresponde a la máxima capacidad captadora de radicales libres, mientras que un valor cercano a 0 (cero) indica una reducida o nula capacidad. El grado de decoloración indica la eficiencia de las

sustancias extraídas como captador de radicales en procesos de estrés oxidativo. Como captador de radicales libres de referencia se utilizó quercetina por tratarse de un flavonoide de actividad antioxidante comprobada.

Determinación de compuestos fenólicos totales

Para la determinación de compuestos fenólicos totales se utilizó el micrométodo modificado de Folin-Ciocalteu (FC) (Fabiani, 2013) el cual se basa en la capacidad de los fenoles para reaccionar con agentes oxidantes. El reactivo de Folin-Ciocalteu contiene molibdato y tungstato sódico, que reaccionan con cualquier tipo de fenol, formando complejos fosfomolibdico-fosfotúngstico. La transferencia de electrones a pH básico reduce los complejos fosfomolibdico-fosfotúngstico en óxidos, cromógenos de color azul intenso, de tungsteno (W_8O_{23}) y molibdeno (Mo_8O_{23}), siendo proporcional este color al número de grupos hidroxilo de la molécula.

Se construyó una curva de calibración, usando una solución patrón de 500 mg/L (concentración) en Acido Gálico. A 0,5 mL de una dilución adecuada de cada muestra de concentración 0,3 mg/mL, se le adicionó 0,5 mL del reactivo Folin-Ciocalteu y se agitó suavemente, después de dos minutos se le agregó 0,5 mL de solución de carbonato de sodio 10 % y 3,5 mL de agua bidestilada. Se llevó a baño termostatzado durante una hora a 30 °C. Transcurrido el tiempo, se realizó las mediciones a 765 nm con espectrofotómetro. La concentración de fenoles en las muestras se calculó en base a la curva de calibración y se expresó como mg equivalentes de Ácido Gálico/ 100 gramos de muestra fresca.

Determinación de la composición de las antocianinas del jugo de arándanos por HPLC

Se determinó la composición de las antocianinas del jugo extraído a partir de 20 frutos de arándanos con un HPLC marca Wáter con detector UV, columna de octadecilsilano (C18) de 250 mm de longitud y 4,6 mm de diámetro, rellena con

partículas de 5 micrómetros de diámetro, empleando una fase móvil de metanol (60 %) y agua (40 %).

Espectro Ultravioleta-Visible

Para analizar la evolución en el tiempo de los compuestos orgánicos del fruto arándano, se realizó espectroscopia UV-Vis, técnica que presenta sencillez operativa y rapidez en el análisis. Se analizó la incidencia del tiempo, la luz y la temperatura en la degradación de los compuestos del fruto arándano.

Se realizó espectros UV-Vis a distintas concentraciones, tanto a temperatura ambiente (15 °C y 978 hPa) bajo condiciones de luz natural y oscuridad, y conservados en heladera a 4 °C.

Para obtener el perfil UV-Vis de compuestos fenólicos presentes en la muestra, se evaluó el jugo al 100 %; y se realizaron diluciones en agua al 20 %, 2 % y 0,2 %, con los espectros se identificaron las bandas componentes y su evolución temporal, utilizando el espectrofotómetro HITACHI U-1900, desde 190 a 1.100 nm de longitud de onda, con una velocidad de barrido de 200 nm/min, usando como blanco agua destilada (Barragan & Aro, 2017).

Obtención del jugo de arándanos para espectros UV-Vis:

Se colocó en un mortero los frutos arándanos, se presionó, centrifugó y filtró obteniéndose jugo al 100 %; se realizaron diluciones en agua destilada al 20 %, 2 % y 0,2 %, Con estas diluciones se identificaron las bandas componentes y su evolución en el espectro UV-Vis.

En la figura 2.4 se muestra el equipo utilizado en laboratorio para la obtención de espectros UV-Vis.



Figura 2.4. Espectrofotómetro UV-Vis HITACHI 1900.

Temperatura ambiente bajo luz y oscuridad

Se realizó espectros UV-Vis a distintas concentraciones a los 0 días y 7 días posteriores, a temperatura ambiente (temperatura promedio mes en mayo 15 °C y 978 hPa) tanto en condiciones de luz natural y oscuridad.

Se dividieron 3 muestras de 20 arándanos cada una, y de cada muestra se realizó 4 lotes:

- 1 – Muestra testigo.
- 2 – Muestra conservada a temperatura ambiente (15 °C), 70 % de humedad y presión atmosférica (978 hPa), expuesta a la luz natural, durante 7 días.
- 3 - Muestra conservada a temperatura ambiente (temperatura promedio 15° C), 70 % de humedad y presión atmosférica (978 hPa), en oscuridad, durante 7 días.

Cabe aclarar que sólo se tomaron 7 días ya que los frutos luego del séptimo día tenían un cambio significativo en su aspecto general. Se evaluó el jugo al 100 %; y se realizaron diluciones en agua al 20 %, 2 % y 0,2 %, con los mismos se identificaron las bandas componentes en el espectro UV-Vis.

Temperatura ambiente y temperatura de heladera

Se realizó espectros UV-Vis a distintas concentraciones a los 0 días, 10 días y 20 días, tanto en condiciones de luz natural a temperatura ambiente (15 °C y 978 hPa) y conservados en heladera a 4 °C.

Se dividieron 3 muestras de 20 arándanos cada una, y de cada muestra se realizó 4 lotes:

1 – Muestra Testigo

2 – Muestra conservada en heladera a 4°C. Se evaluó a 10 días y 20 días.

3 – Muestra conservada a temperatura ambiente (15 °C y 978 hPa) Se evaluó a 10 días y 20 días.

Se evaluó el jugo al 100 %; y se realizaron diluciones en agua al 20 %, 2 % y 0,2 %, con los mismos se identificaron las bandas componentes en el espectro UV-Vis.

En la figura 2.5 se observa la obtención de jugo y las diluciones realizadas usando agua destilada.



Fig. 2.5. Jugo de arándanos a distintas concentraciones.

Espectroscopia Infrarroja y Raman del jugo de arándanos

Para corroborar la estructura o la distribución características de los grupos funcionales, sobre la base de la información espectroscópica obtenida a partir de

los espectros de UV-Vis, se realizó espectroscopia IR y raman del jugo de arándanos.

Se utilizaron concentraciones de 25, 50, 75 y 100 % del jugo de frutos completos de arándanos en alcohol etílico. El equipo utilizado fue FT IR Nicolet iS50 para determinar los espectros Infrarrojo y para Raman se utilizó un Thermo Scientific DXR Smart Raman.

Determinación de unidades formadoras de colonias

Se realizó por el método de siembra en superficie sobre Agar papa dextrosa, suplementado con Cloramfenicol (Merck), e incubando a 28 °C por 5 días bajo condiciones aeróbicas (Vanderzant, 1992).

2.6 Resultados

A continuación se presentan los resultados de las determinaciones realizadas para caracterizar el fruto arándanos, acompañados de las discusiones correspondientes.

Fibra dietaria, humedad y cenizas

La tabla 2.1 muestra valores medios de las características del fruto completo analizadas. Las determinaciones se realizaron por triplicado.

Tabla 2.1. Valores de Fibra Dietaria, humedad y cenizas de los frutos de arándanos

	% Fibra dietaria insoluble (FDI)	% Fibra dietaria soluble (FDS)	% Fibra dietaria Total (FDT)	% Humedad a 55 °C	% Cenizas
Fruto Completo	1,54 ± 0,05	0,53 ± 0,02	2,07 ± 0,07	85,59 ± 0,04	1,78 ± 0,02

En la tabla 2.1 se observa los valores medios y desviación estándar de fibra dietaria total, soluble e insoluble de las muestras estudiadas. El fruto arandano completo presenta un bajo contenido de fibra dietaria total. La fibra insoluble es el principal componente de esta fracción, con un contenido menor de fibra dietaria soluble.

Se observa que la variedad estudiada presenta un alto contenido de humedad, la cual según Wills et al. (1984) está dentro del rango 80 a 95% que es estipulado para la mayoría de frutas y hortalizas, en tanto Giovanelli et al. (2013) obtuvieron una humedad de 87,31 % para el arándano (*Vaccinium corymbosum* L.). Otras variedades como Emerald y Ventura registran un valor de 86% aproximadamente. El contenido de humedad de distintas variedades de arándano, oscila entre 74 y 86 %, deduciendo que las variedades y las condiciones edafoclimáticas influyen considerablemente en la variación del contenido de agua. (Stückrath & Petzold, 2007; Pinedo Montoya, 2018). Otros autores indican valores de humedad próximos a $89 \pm 1,0$ % en la fruta fresca (Campostrini, 2018). La determinación de cenizas permite estimar la cantidad total de minerales en la muestra, indicando la presencia de óxidos metálicos y de iones metálicos. Dependiendo del producto, la cantidad de cenizas afecta la calidad del mismo, siendo un factor a tomar en cuenta en los análisis de calidad. Se observa que el contenido de cenizas estudiadas en el fruto completo oscila en 1,78 %, encontrándose en el rango del contenido de cenizas (0,15 a 0,31) % indicado por Hassimotto et al. (2008). Otro valor hallado en literatura fue 1,20 % (Stückrath, 2007; Campostrini, 2018), lo cual muestra la presencia de un contenido mayor de minerales en la muestra estudiada. Se puede inferir, por medio de los diferentes estudios realizados por los autores ya mencionados, que la variabilidad del contenido de cenizas o sales está sujeto a la disposición de minerales en el fruto arandanos.

En la tabla 2.2 se indica la composición nutricional del arándano, observándose el alto contenido de minerales. La composición nutricional del arándano puede

ser afectada por la variedad, la región donde se cultive y las prácticas culturales.

Tabla 2.2. Valor nutricional del arándano

Composicion nutricional aproximada del arándano cada
100 gramos de fruto

Calorías (Kcal)	42
Agua (g)	87,4
Proteínas (g)	0,3
Fibras (g)	1,7
Vitamina A (UI)	30
Vitamina C (mg)	12
Ac. Patatonico (mg)	12
Ac. Nicotinico (mg)	0,2
Sodio (mg)	2
Potasio (mg)	72
Calcio (mg)	14
Magnesio (mg)	6
Hierro (mg)	0,5
Manganeso (mg)	0,5
Cobre (mg)	0,26
Fósforo (mg)	10

Fuente: Base de datos de nutrientes del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 2019) y Chiabrando y Giacalone (2017)

Densidad, viscosidad, índice de refracción y °Brix

En la tabla 2.3 se observan los resultados experimentales de las propiedades físicas en las muestras estudiadas:

Tabla 2.3. Valores medios y desviación estándar de densidad, viscosidad, índice de refracción, °Brix en función de la temperatura

T (°C)	d (kg/m ³)	η (Pa.s)	I	°Bx
15,00	1,0276 ± 0,0004	-	-	-
20,00	1,0264 ± 0,0003	-	-	-
22,00	-	0,990 ± 0,001	-	-
23,66	-	-	1,35094 ± 0,00005	12,00 ± 0,03
23,85	-	-	1,35088 ± 0,00006	-
24,64	-	-	1,35062 ± 0,00003	11,80 ± 0,04
24,78	-	-	1,35056 ± 0,00004	-
25,00	1,0249 ± 0,0003	0,989 ± 0,003	-	-
25,01	-	-	1,35045 ± 0,00002	-
25,10	-	-	1,35042 ± 0,00005	-
25,17	-	-	1,35039 ± 0,00004	11,67 ± 0,03
30,00	1,0233 ± 0,0005	0,945 ± 0,001	-	-
35,00	1,0210 ± 0,0001	0,813 ± 0,002	-	-
40,00	1,0187 ± 0,0002	-	-	-

En las figuras 2.6 a 2.9 se observa la variación de la propiedad como función de la temperatura. Las incertidumbres experimentales son del tamaño de los símbolos.

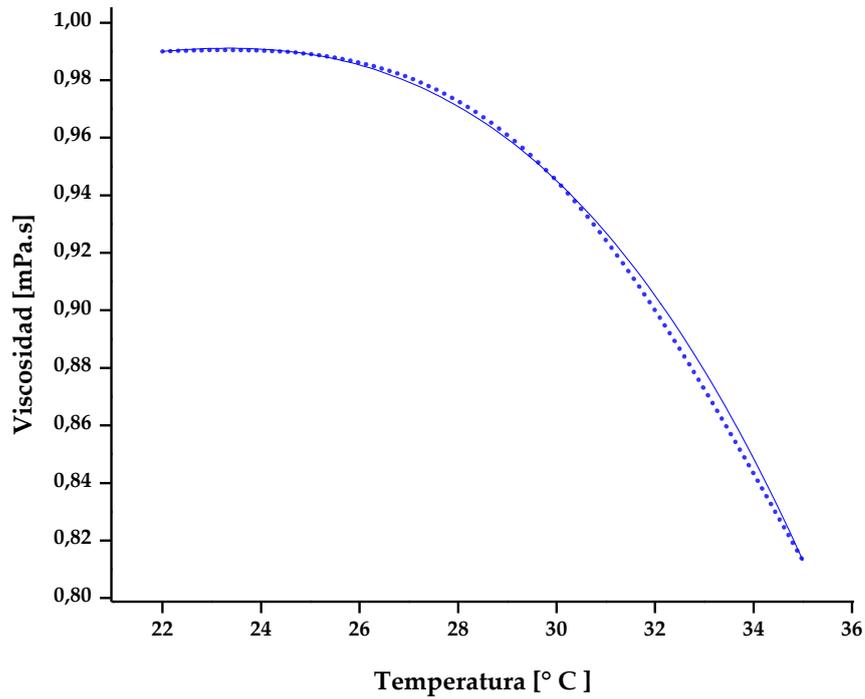


Fig 2.6 . Variación de la viscosidad del jugo en función de la temperatura. Los puntos . representan los resultados experimentales y la línea continua ecuación de ajuste.

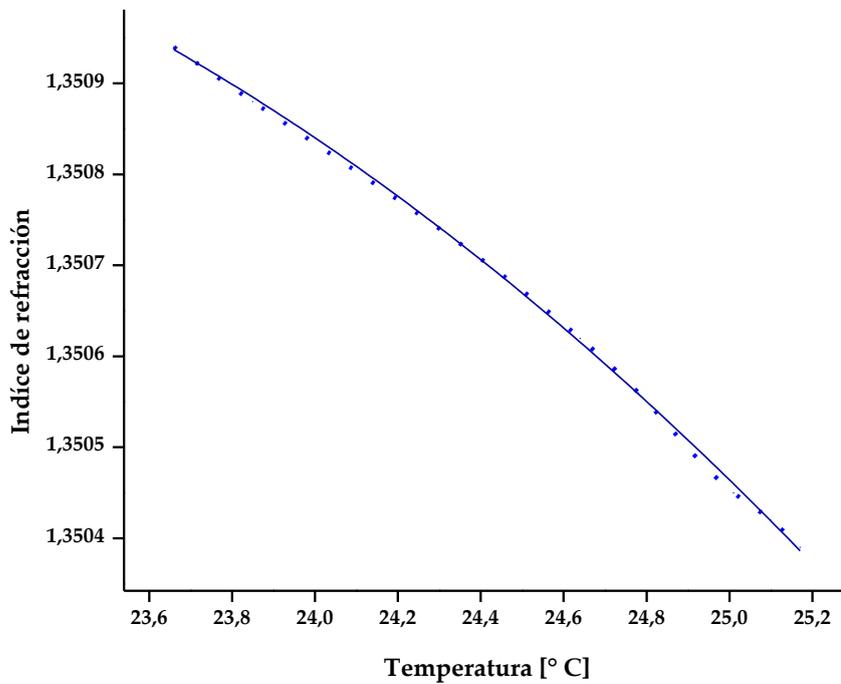


Fig 2.7 . Variación del índice de refracción del jugo en función de la temperatura

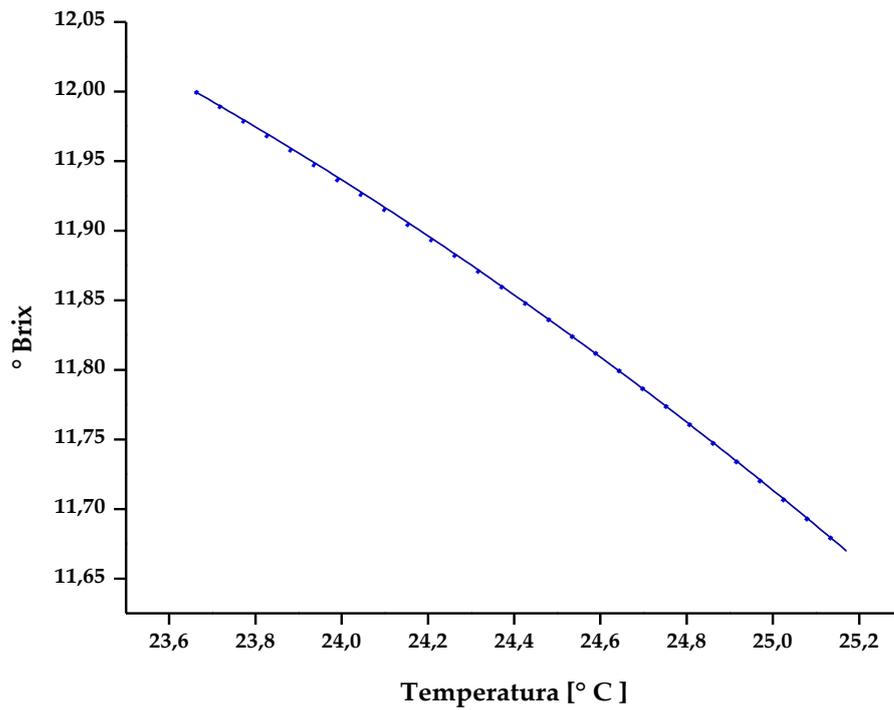


Fig 2.8 . Variación de °Brix del jugo en función de la temperatura.

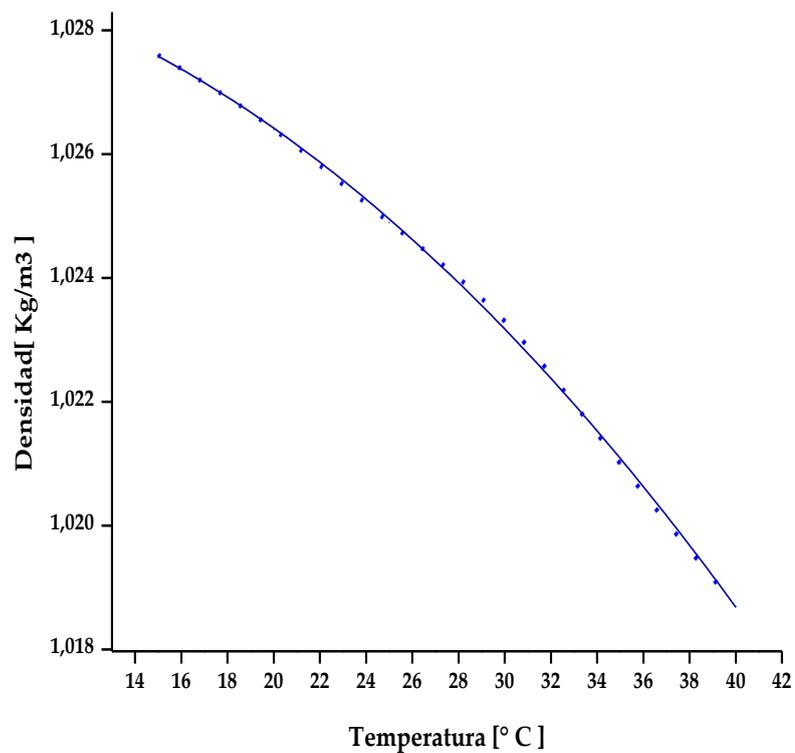


Fig 2.9 . Variación de la densidad del jugo en función de la temperatura.

El efecto de la temperatura sobre la densidad a una concentración constante y el efecto de la concentración sobre la densidad en temperaturas especificadas han sido estudiados por Zuritz et al., 2005 y De MouraSC et al., 1998 para varios zumos de fruta.

Se obtuvo correlaciones entre las propiedades termofísicas y la temperatura, que se muestran en la tabla 2.4:

Tabla 2.4. Ecuaciones de ajuste de las propiedades con la temperatura.

Propiedad	Ecuaciones de ajuste
Densidad	$d = -6.10^{-6} T^2 - 10^{-5} T + 1,0292$
Viscosidad	$\eta = -0,0015 T^2 + 0,0733 T + 0,1113$
Índice de refracción	$i = -7.10^{-5}.T^2 + 0,003. T + 1,3187$
° Brix	${}^{\circ}\text{Bx} = -0,0273. T^2 + 1,1138. T + 0,9215$

Determinación de la actividad antirradicalaria y compuestos fenólicos totales

En la tabla 2.5 se muestra se muestra el contenido fenólico total y actividad antirradicalaria.

Tabla 2.5. Valores medios y desviación estándar de actividad antirradicalaria y contenido total de fenoles en el jugo y en la cáscara de arándanos

Extractos Etanólicos	DPPH decoloración			FenolesTotales [mEAG/100gmuestra]
	Concentración de Extractos			
	[100 µg/ml]	[50 µg/ml]	[10 µg/ml]	
Jugo	23,23 ± 0,45%	11,98 ± 0,24%	3,01 ± 0,23%	280 ± 30
Cáscara	78,98 ± 0,14%	50,71 ± 0,17%	8,33 ± 0,12%	450 ± 30

Todas las determinaciones se realizaron por triplicado, por ello los resultados se expresan con la media y la desviación estándar

Del análisis de la tabla 2.5 se observa que la variedad estudiada presenta contenidos en fenoles totales similares a los encontrados en la bibliografía para arándanos cultivados de distinta procedencia, siendo mayor en la cáscara. USDA Nutrient Data base (2004) publica valores medios de 292,97 mg fenoles/100g arándano fresco para las variedades de mayor consumo en EE. UU. Otros autores indican que el contenido fenólico se encuentra próximo a 230 mg fenoles totales/100 g de arándano fresco, así en un trabajo (Ochmian et al., 2009) concluye que el contenido fenólico, en el mejor de los casos, es de 231,03 mg fenoles totales/100 g de arándano fresco cosechados en Polonia y en otros (Giovanelli et al., 2009), ha encontrado que los valores de contenido fenólico para arándanos cosechados en Italia oscilan entre 250 a 310 mg fenoles/100 g arándano fresco.

La actividad antirradicalaria de los extractos de arándanos, medida como porcentaje de decoloración de DPPH y corregidos usando quercetina como referencia, se vio en la tabla 2.5. Se observa que los extractos a partir de la cáscara de arándanos presentan presenta mayor capacidad atrapadora de radicales.

El estudio de los compuestos fenólicos en alimentos constituye una de las ramas de mayor desarrollo en los últimos años, por su importancia en la protección de la salud, mejora de la alimentación, y alta capacidad antioxidante frente a la acción de radicales libres, así, contribuyen en la prevención de enfermedades de origen oxidativo (enfermedades neurodegenerativas, cardiovasculares; algunos tipos de cáncer). La ingesta de compuestos fenólicos en la dieta diaria es variable; los mayores niveles de ingesta se observan en poblaciones con un alto consumo de frutas y verduras (Manach, 2004) . Los arándanos presentan alto contenido en polifenoles sobre todo en antocianinas (Barnes, 2009) .

Determinación de la composición de las antocianinas del jugo de arandanos por HPLC

En la tabla 2.6 se observa el contenido de antocianinas obtenidos con HPLC, los cuales se diferencian con respecto a los datos observados en algunas referencia

bibliograficas (Zapata et al., 2014) aunque mantienen la proporción en la que se encuentran, siendo las antocianinas predominantes cianidina-3-galactósido, peonidina-3-galactósido y malvinidina-3-glucósido.

En la tabla 2.6 el contenido de antocianinas.

Tabla 2.6. Tipo y contenido de antocianinas de los frutos de arándanos obtenido por HPLC

Nombre antocianina	% antocianinas
Delfinidina 3-galactósido	2,9
Delfinidina 3- glucósido	1,5
Cianidina 3-galactósido	68,3
Cianidina 3-glucósido	2,8
Cianidina 3-arabinosido	3,4
Peonidina 3-galactósido	12,2
Malvinidina 3-glucósido	3,9

Según otros investigadores, se corrobora que la antocianina mayoritaria en el fruto arándano es la malvidina-3-glucósido y el rango de concentración de antocianos totales que establecen para dicho fruto es de 100 a 300 mg cada 100 g de peso fresco (Connor et al., 2002; Wang et al., 2008). Ogawa et al. (2008) realizaron la identificación y cuantificación de las antocianinas presentes en dos especies distintas de arándanos: arándano europeo (*Vaccinium myrtillus*) y arándano americano (*Vaccinium corymbosum*), que a diferencia del arándano estudiado son variedades rojas. Observan que la antocianina mayoritaria es diferente en función de la especie, ya que en el arándano europeo puede ser la cianidina-3-glucósido o la cianidina-3-galactósido con unas concentraciones de 405 y 370 mg 100 g⁻¹, respectivamente. Garcia Pastor (2016) observó en los arándanos, a 520 nm, la presencia de siete antocianinas principales identificadas

por espectrometría de masas (MS). Los picos identificados por orden de elución han sido: 1) peonidina-3- glucósido, 2) cianidina-3-glucósido, 3) petunidina-3-glucósido, 4) cianidina-3-pentósido, 5) malvidina-3-glucósido, 6) malvidina-3-pentósido, 7) quercetina-3- rutinósido. La cuantificación de las antocianinas por HPLC mostró que la antocianina predominante en este fruto es la malvidina-3-glucósido. Una vez cuantificados dichos picos por HPLC, se concluye que en el arándano el contenido de antocianos totales es de 84 mg cada 100 g de peso fresco, siendo la concentración de la antocianina mayoritaria de 29 mg cada 100 g de peso fresco. De la misma manera, en otro estudio se encontró que los arándanos contienen cinco de las seis antocianidinas que se encuentran en la naturaleza (cianidina, delfinidina, peonidina, petunidina y malvidina), las cuales son metabolitos secundarios de las plantas que otorgan color violeta y/o rojo, y su consumo tiene propiedades benéficas para el sistema inmune, es antiinflamatoria, y actúa como antioxidante y protector del sistema cardiovascular. (Manganaris et al., 2014).

Las antocianinas se caracterizan por una deficiencia de electrones debido a su estructura química particular, lo que los hace muy reactivo a los radicales libres presentes en el organismo. En consecuencia, pueden ser potentes antioxidantes naturales (Bridgers, 2010). Las propiedades atribuidas a las antocianinas para mejorar la salud están asociadas con esta capacidad de actuar como antioxidantes y secuestrar radicales libres en sistemas biológicos. Pueden donar hidrógenos o electrones a los radicales libres o atraparlos y desplazarlos en su estructura aromática (Garzón, 2008; Zapata, 2014).

Espectros UV-Visibles

Los polifenoles absorben en la región ultravioleta (UV). En el caso de los fenoles de tipo flavonoide existen 2 bandas de absorción características (Merken, 2000) la banda del anillo aromático A con una absorción máxima en el rango de 240-285 nm (banda de benzoilo) y otra banda del anillo B con una absorción máxima en

el rango 300-550 nm (banda Cinamoil).

En la figura 2.10 se muestra el espectro UV-Vis de soluciones a diferentes concentraciones del jugo de arándanos en agua.

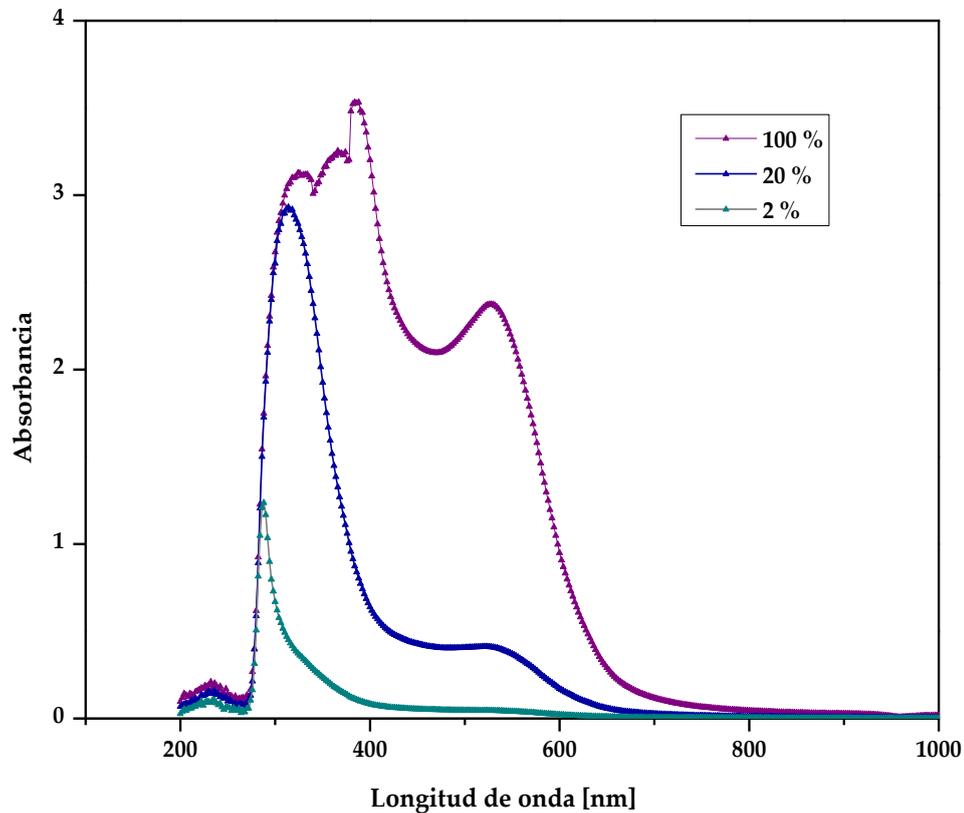


Fig. 2.10. Espectro UV-Vis de soluciones a diferentes concentraciones % v/v del jugo de arándanos en agua.

El análisis UV-Vis de diluciones en agua destilada del jugo de arándano al 100 %, 20 % y 2 % mostró una banda de absorción máxima (estructura compuesta) entre 200 y 300 nm que corresponde a la característica de banda de benzoilo o banda II. El anillo aromático A de flavonoides con picos a 384, 366 y 322 nm y otra banda muy ancha a 520 nm que es la banda I o banda cinamoil y corresponde al anillo aromático B de estructura flavonoide. El desplazamiento de esta última banda a una longitud de onda mayor de 500 nm es característica para los flavonoides del grupo de las antocianinas (Hong, 1990; Zielinska, 2016; Zhao et al., 2017),

verificando así la presencia de antocianinas además de otras sustancias fenólicas como se muestra en la Figura 2.10. La banda de absorción a 515 nm es característica de las antocianinas.

En el espectro del 20 % se observan picos 320 nm y 522 nm en coincidencia con lo antes mencionado. A mayores diluciones, la banda de 320 nm se vuelve muy evidente.

Temperatura ambiente bajo luz y oscuridad

En la figura 2.11 se muestra el espectro UV-Vis de jugo de arándanos al 100 % a 0 días y 7 días posteriores de la conservación bajo luz y oscuridad.

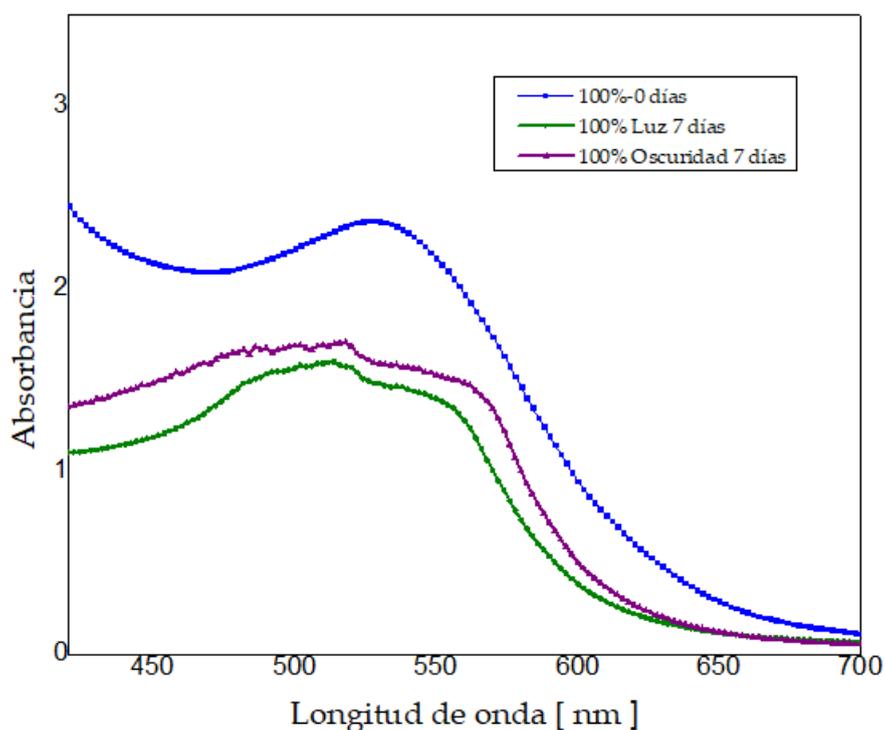


Figura 2.11. Espectro UV-Vis de jugos al 100% -----muestra testigo a los 0 días, ----- muestra conservada a temperatura ambiente bajo luz a los 7 días y ----- muestra conservada a temperatura ambiente bajo oscuridad a los 7 días.

De los espectros UV-Vis (Fig. 2.11) se observa en la zona de 400-600 nm una

estructura de bandas componentes, siendo la de 530 nm más intensa. La muestra conservada bajo condiciones de oscuridad muestra una intensidad mayor frente a la muestra conservada bajo luz, aproximadamente un 10%. Comparando con el espectro de la muestra testigo se ve una disminución de intensidad en ambas muestras conservadas. Esto concuerda con diversos estudios en donde han determinado la inestabilidad de las antocianinas frente a la presencia de luz, siendo un factor que acelera la degradación de las antocianinas. Se ha observado que la sustitución del hidroxilo en el C-5 hace que la antocianina sea más susceptible a la fotodegradación cuando ésta se presenta con flavonas polihidroxiladas, isoflavonas y auronas sulfonadas (Delgado-Vargas et al., 2000). Ferreira Ozela et al. (2007), al estudiar el efecto de la luz sobre la estabilidad de las antocianinas en extracto de frutos de espinaca blanca, concluyeron que la luz ejerce un efecto adverso sobre su estabilidad. Laleh et al. (2006) llegaron a la misma conclusión en su investigación referida a la estabilidad de antocianinas presentes en extractos de frutos de 4 especies de berberies, como así también Devi et al. (2012) al estudiar la estabilidad de antocianinas extraídas de salvado de sorgo rojo. Por lo tanto, resulta importante proteger de la luz a los frutos arándanos ensayados, ricos en antocianinas.

Temperatura ambiente y temperatura de heladera

En la figura 2.12 se muestra el espectro de las muestras testigo y conservadas bajo condiciones de luz natural a temperatura ambiente (15 °C y 978 hPa) y conservados en heladera a 4 °C al cabo de 10 y 20 días.

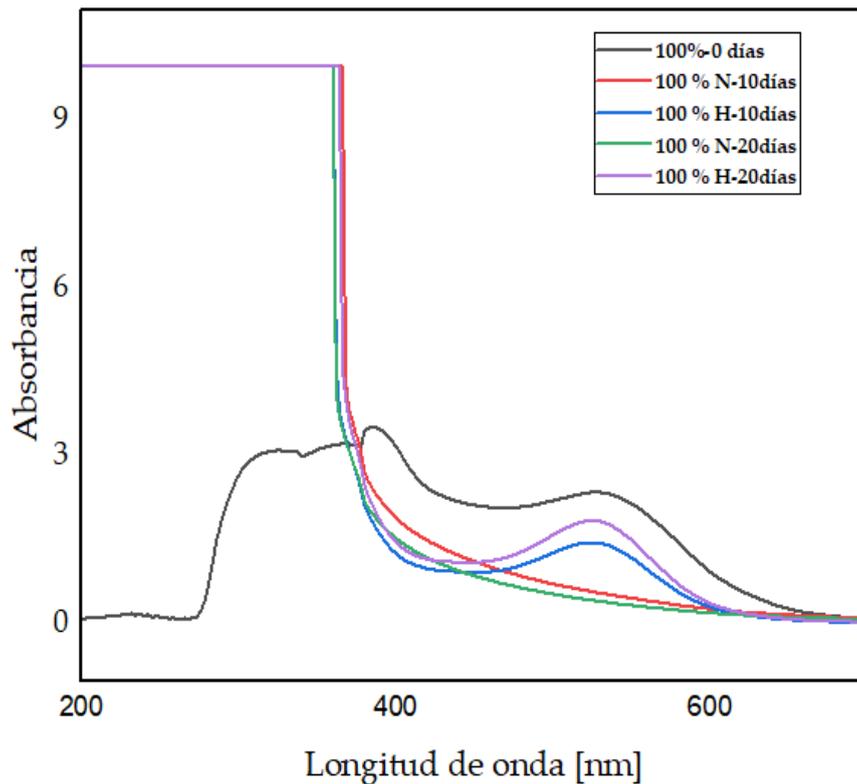


Fig. 2.12. Espectro UV-Vis de jugos al 100% -----muestra testigo a los 0 días, ----- muestra conservada a temperatura ambiente a los 10 días, ----- muestra conservada en heladera a los 10 días, ----- muestra conservada a temperatura ambiente a los 20 días, ----- muestra conservada en heladera a los 20 días.

De los espectros UV-Vis (Figura 2.12) se observa la presencia de bandas de absorción características en la región UV entre (250 y 400 nm) y visible (500 a 545 nm) que indican la presencia de antocianinas, tal como se obtuvo en diferentes materiales vegetales: frutos, jugos y vinos, así como en flores (Ortega & Guerra, 2006). Se observa que en los espectros de las muestras al 100 % conservada en heladera y ambiente, luego de 10 y 20 días de conservación:

Las bandas en las zonas de 200 a 400 nm aumentaron significativamente, superando 10 unidades de absorbancia. Las bandas en la zona de 400 a 600 nm disminuyeron hasta prácticamente desaparecer en los jugos de frutos conservados a temperatura ambiente mientras que en los conservados en la

heladera la banda de 400 desaparece y la banda en la zona próxima a 500 nm mantiene la misma forma de la muestra testigo inicial a 0 días, pero con menor intensidad. Algunos estudios encontraron un incremento en el contenido de fenoles totales en otros berries como cerezas almacenadas a 4 °C durante 7 días, las cuales muestran un incremento de 7,5 %. En frutillas el incremento de los compuestos fenólicos totales a los 11 días de almacenamiento a 4° C fue del 12,4 % y el almacenamiento a 25 °C de frutos pequeños analizados facilitó un deterioro más rápido (Piljac-Žegarac, 2011). En moras refrigeradas a 1 °C por 15 días el contenido de compuestos fenólicos tuvo aumentos de 9,5 % a 54,1 % (Kim et al., 2015). Además, se observó un aumento de 65,4 % de antocianinas en cerezas, luego de una semana de almacenamiento a 4 °C. El almacenamiento a 4 °C preservó las cualidades de los frutos analizados durante un período prolongado de tiempo en comparación con el almacenamiento a temperatura ambiente y los valores de capacidad antioxidante fueron mayor en las frutas almacenado a 4 °C, en lugar de 25 °C (Piljac-Žegarac, 2011). La variación de polifenoles totales en berries depende de diversos elementos como condiciones ambientales, grado de madurez, variedad del cultivo, almacenamiento y procesamiento de las frutas (Vollmannová et al., 2009; Kalt et al., 2003). Teniendo en cuenta el metabolismo fenólico postcosecha, se pueden generar esqueletos carbonados provenientes de carbohidratos o ácidos orgánicos, los cuales son empleados para la síntesis de compuestos fenólicos “antocianínicos” y “noantocianínicos” (por ejemplo, ácido hidroxicinámico o flavonoides “no antocianínicos”). El incremento de antocianinas, también podría darse debido a la presencia de ácidos orgánicos que pueden dejar disponibles sustratos (esqueletos carbonados) para síntesis de compuestos, dentro de los cuales se incluyen las antocianinas (Kalt et al., 1999; Kalt et al., 2003). Teniendo en cuenta lo analizado, mantener las frutas bajo el almacenamiento refrigerado parece ser la opción recomendada.

En la figura 2.13 se muestran fotos de frutos conservados en diferentes condiciones durante 7 días. En heladera a 4°C, a temperatura ambiente tanto en luz como en oscuridad.

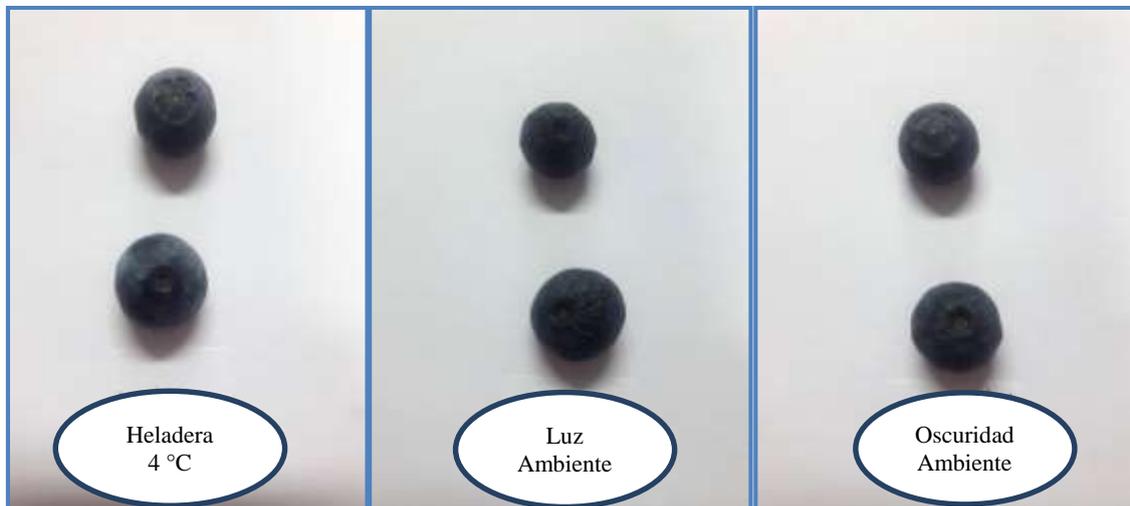


Figura 2.13. Muestras de frutos arándanos conservados en heladera y a temperatura ambiente bajo la luz y la oscuridad durante de 7 días.

Se observa que la muestra conservada en heladera a 4 °C presenta color azulado brillante y mayor firmeza al tacto. Mientras que la muestra almacenada en condiciones de luz a temperatura ambiente se presenta como una fruta blanda al tacto, de color opaco, con indicios de pudrición, hongos y pequeñas exudaciones de jugo. La muestra conservada en oscuridad a temperatura ambiente presenta mejores condiciones que la última mencionada, mostrando mayor brillo y con menos indicios de pudriciones.

Espectroscopia Infrarroja y Raman del jugo de arándanos

En la figura 2.14 se muestra el espectro Raman del jugo de arándanos a distintas concentraciones.

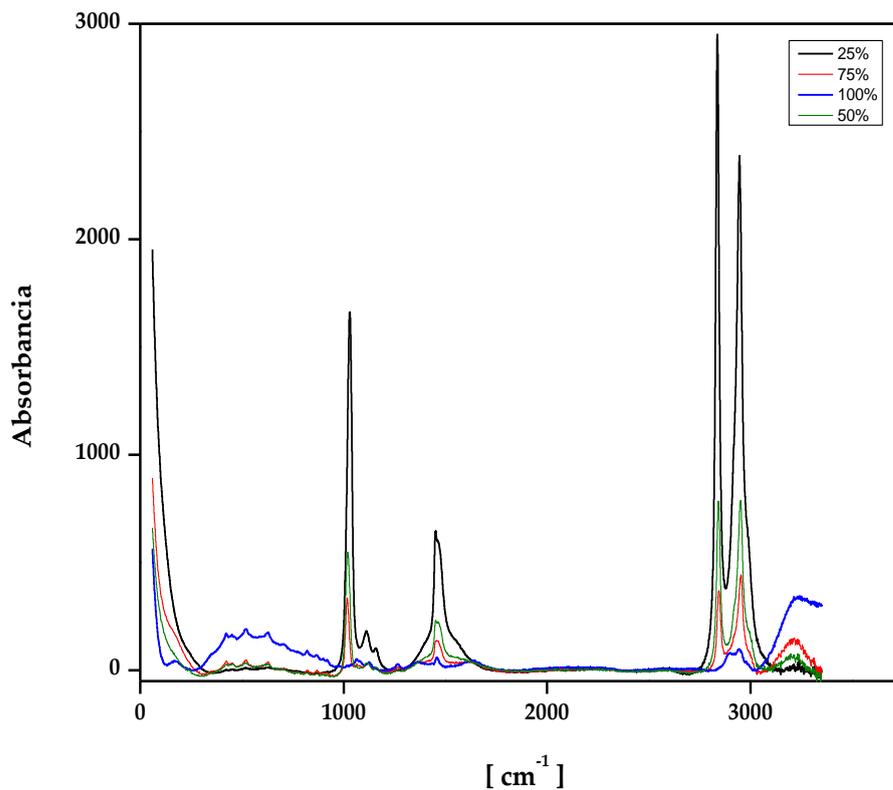


Fig. 2. 14. Espectro Raman del jugo de arándanos a 25, 50, 75 y 100% en alcohol etílico.

Del análisis de los espectros se puede concluir el tipo de sustancias presentes evaluando los grupos funcionales. En la tabla 2.7 se muestran las frecuencias de los distintos grupos funcionales en el espectro infrarrojo/Raman.

Tabla 2.7. Frecuencias de grupos funcionales en el espectro infrarrojo/ raman de los frutos de arándanos.

Enlace	Tipo de compuesto	Intervalo de frecuencia (cm ⁻¹)	Intensidad
C-H	Alcano	2800-3000	Baja
C=O	Aldehído-cetona – ácido carboxílico	1500-1600	Baja
C-O	Sustituciones en anillo aromático	850-1100	Fuerte

Se observa en la tabla 2.7 en concordancia con la Fig. 2.14, que la espectroscopia infrarroja muestra señales que caracterizan la presencia de cadena alifática, así como la presencia de compuestos con carbonilo como aldehídos, cetona o ácidos carboxílicos, además de la señal característica de los derivados de benceno (García, 2015).

Se puede inferir que los picos del espectro Raman en 200, 400, 800, 1000, 1100, 1200, 1300 corresponden a catequina; 800, 900, 1100, 1500 a quercetina; 400, 800, 1500, 1600 a kaempferol; 500, 600 a galengina y 400, 1500 a morina en el jugo de arándanos (Domingo et al., 2010).

Determinación de unidades formadoras de colonias.

Recuento total de hongos

En la tabla 2.8 se observa el recuento de unidades formadoras de colonias en los frutos de arándanos.

Tabla 2.8: Valores del contenido de unidades formadoras de colonias (hongos) en la muestra.

Muestra	UFC /g de fruta fresca
Control	6200

Una causa de las pérdidas poscosecha son las enfermedades causadas por hongos. Estas patologías son muy variables en función de las especies y variedades que se utilizan y de la zona productora. Además, las condiciones climáticas, forma de recolección, manejo poscosecha y condiciones de conservación de la producción influyen significativamente (FAO, 2012). Los frutos se encuentran en contacto con microorganismos a lo largo de todos los eslabones de la cadena de producción, la cual abarca desde el campo hasta el

consumidor final. Durante este proceso, el producto puede contaminarse con patógenos humanos y/o infectarse por microorganismos fitopatógenos (Crisosto et al., 2003, Deflippi et al., 2013). Las podredumbres poscosecha causadas por *Botrytis cinerea* (*B. cinerea*) y *Alternaria tenuissima* (*A. tenuissima*) son las de mayor incidencia. *B. cinerea* es un patógeno particularmente complicado debido a que puede crecer aun a las bajas temperaturas de almacenamiento del arándano y es capaz de infectar más de 200 especies vegetales. Los arándanos también son susceptibles a la infección por muchos otros patógenos entre los que se encuentran *Colletotrichum* spp., *Cladosporium herbarum*, *Stemphylium botryosum* y *Rhizopus stolonifer* (Hongn et al., 2011, Pitt y Hocking, 1997, Smilanick et al., 2002, Wright et al., 2005).

Después de la cosecha los frutos frescos son susceptibles de ser atacados por patógenos saprófitos o parásitos, debido a su alto contenido en agua y nutrientes y porque han perdido la mayor parte de la resistencia intrínseca que los protege durante su desarrollo en el árbol. Su contenido en ácidos orgánicos es suficiente para producir pH inferiores a 4,6 favoreciendo que las formas microbianas predominantes en el fruto sean de origen fúngico, principalmente mohos (Viñas, 1990). En la provincia de Tucumán, *Alternaria tenuissima* (Kunze ex Pers.) Wiltshire es el agente causal de una de las podredumbres de poscosecha de mayor prevalencia en los cultivos de arándano (Velázquez et al., 2008, 2009, 2010). Estudios realizados en los departamentos Monteros y Chicligasta, determinaron que los niveles de incidencia de enfermedades presentaron diferencias de acuerdo al momento de cosecha, incrementándose gradualmente desde mediados - fines de octubre hasta mediados - fines de noviembre. Dichos niveles dependerían tanto de las características epidérmicas del fruto como de las condiciones climáticas prevalecientes durante el período de cosecha, entre ellas las mayores precipitaciones (Velázquez et al., 2009, 2010). En condiciones de almacenamiento a baja temperatura (4 °C), los niveles de incidencia de

podredumbres por *A. tenuissima* y *Botrytis* spp. se incrementaron en el tiempo (Velázquez y Farías, 2009). La calidad y condición de los frutos, el cultivar, manejo técnico de la plantación y estrategias de manejo en cosecha y poscosecha están estrechamente vinculados con los principales factores de pérdida poscosecha en arándano, deshidratación e incidencia de hongos, por lo que es necesario reducir la contaminación de microorganismos patógenos que puedan afectar la salud del consumidor y la de los microorganismos alterantes (Garmendia, 2006).

En la figura 2.15 se muestra el aspecto macroscópico y morfología celular de *B. cinerea*

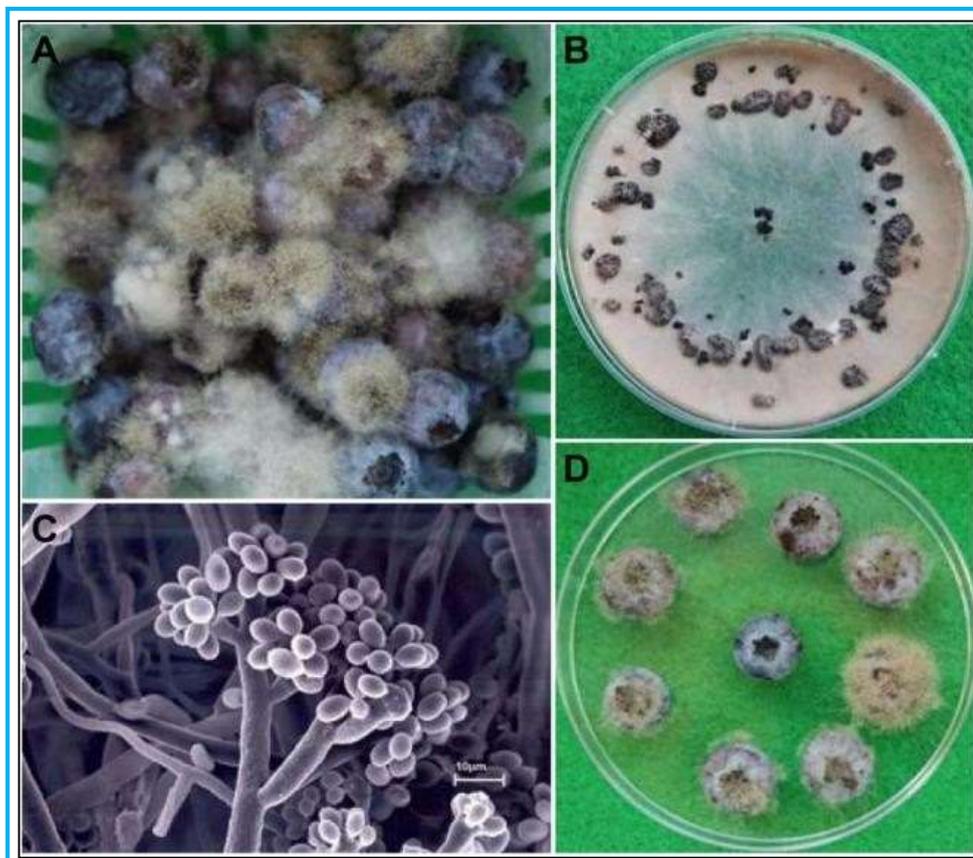


Figura 2.15. Aspecto macroscópico y morfología celular de *B. cinerea*. A. Clamshell con arándanos afectados principalmente por podredumbre gris. B. Aspecto de la colonia crecida en medio de cultivo. Las aglomeraciones negras corresponden a esclerocios. C. Microscopía electrónica de barrido de conidióforos y conidias. D. Arándanos infectados *in vitro* con aislamientos de *B. cinerea*.

Análisis estadístico

Los resultados obtenidos se analizaron estadísticamente mediante el software InfoStat mediante análisis de varianza (ANOVA). La comparación de medias se realizó mediante el Test de Mínima Diferencia de Fisher (LSD) con un nivel de confianza del 95 %.

2.7 Conclusión

De este estudio, se concluye que los frutos contienen un alto contenido de agua, un contenido de fibra dietaria total del cual el porcentaje importante corresponde a la fibra dietaria insoluble y menor contenido de fibra dietética soluble. La presencia de valores considerables de cenizas indican la presencia de mayores contenidos de minerales.

La densidad, la viscosidad y el índice de refracción son función de la temperatura. Estas propiedades físicas disminuyeron con un aumento de la temperatura, dentro del rango de estudio. La obtención de las Ecuaciones de regresión lineal se expresa para la variación de las distintas propiedades físicas con la temperatura. La cáscara tiene una mayor cantidad de polifenoles así como una mayor capacidad de captura del radical DPPH en comparación con el jugo. El contenido de polifenoles totales muestra valores similares a los publicados en la literatura. Del análisis de HPLC se infiere que el jugo de arándanos posee, entre otras, las antocianinas: cianidina-3-galactósido, peonidina-3-galactósido y malvinidina-3-glucósido. Las variables dinámicas y la evolución temporal del jugo de los frutos arándanos almacenados en diferentes condiciones de iluminación y temperatura, muestra que mantener bajo oscuridad y almacenamiento refrigerado sería la opción recomendada. A partir de los espectros IR y Raman se encontró que predominan los siguientes polifenoles: catequina y quercetina. Los valores obtenidos en el análisis microbiológico son similares a los obtenidos en otros trabajos publicados, por lo que la técnica nos permite predecir las UFC (hongos) de manera bastante precisa.



CAPITULO 3:
Métodos de conservación
no convencionales:
ensayo a nivel laboratorio

3.1 Generalidades

Es relevante investigar la posibilidad de desarrollar tecnologías alternativas, económicas, ecológicas e inteligentes que permitan procesar y conservar los alimentos, en particular los frutos. Las tecnologías tradicionales de conservación son útiles y se encuentran ampliamente aceptadas, son altamente costosas ya que para garantizar la calidad de estas frutas hasta su utilización, se requiere de equipos específicos y altos costos de instalación y mantenimiento. En el pasado, estas tecnologías de conservación se basaban en tratamientos térmicos severos (calentamiento, congelación), disminución de la actividad de agua (secado, deshidratación, etc.), utilizando una cantidad de energía considerable y cambios significativos en las propiedades organolépticas. En los últimos años, creció la demanda de productos frescos, con la mínima cantidad de aditivos posible, seguros, desde el punto de vista higiénico y medioambiental, lo que ha generado la necesidad de estudiar nuevas formas de conservación. (Solenó, 2015). Los mayores avances en este campo se han conseguido con el desarrollo de sistemas físicos, que afectan la viabilidad de los microorganismos, sin un incremento sustancial de la temperatura del alimento. Estos métodos “no térmicos” no afectan, o lo hacen mínimamente a las características nutritivas y sensoriales de los alimentos (Herrero, 2006). Entre las posibles alternativas, encontramos la aplicación de campos electromagnéticos directos o bien estrategias de aplicación combinada (Herrero, 2006; López Díaz, 2012; Lante, 2016; Velásquez, 2008). La aplicación de radiación electromagnética en la región del microondas (Gamage, 2015), UV (Lante, 2016; Sahm, 2013), tratamientos con altas frecuencias (Rayos X, gamma, etc.) ofrecen una alternativa a los tratamientos térmicos convencionales con menor pérdida de características organolépticas y una excelente calidad higiénico-sanitaria. A su vez, métodos análogos a la irradiación continua como la emisión de pulsos de luz, que se consideran más efectivos dado que si se emiten en promedio entre 1 y 20 pulsos de luz por segundo, se da una amplificación del

poder irradiado, con lo que se alcanza mayor penetración por parte de luz sobre la superficie aplicada, así como una inactivación de los microorganismos más rápida y efectiva al difundir luz en una gama de longitudes de onda más amplia que las lámparas de mercurio tradicionales de luz UV-C (Oms et al., 2010).

Se evaluó estos métodos de manera exhaustiva, así como su historia, orígenes del método, principios básicos de la técnica, sus derivaciones y recursos disponibles para su aplicación (Shama, 2005; Koutchma et al., 2009; Oms et al., 2010; Keklik y Demirci, 2014).

El incremento del consumo de arándanos en todo el mundo se debe principalmente a los múltiples beneficios para la salud. Dicho efecto está asociado en gran medida a la capacidad antioxidante de distintos fitoquímicos capaces de prevenir o ralentizar los procesos oxidativos que intervienen en numerosas patologías. Los compuestos fenólicos son los principales responsables de dicha capacidad antioxidante, siendo el arándano una de las mejores fuentes de fenoles tales como ácidos fenólicos, flavonoles, antocianinas y proantocianidinas (Vásquez et al., 2012). El jugo de arándanos contiene 9 mg de antocianinas y 18 mg de ácido ascórbico por cada 100 mg de fruto seco y se pierden hasta el 80 % de antocianinas en 6 meses a temperatura ambiente (Fennema, 1993). La banda de absorción próxima a 500 nm provee información del tipo de antocianina presente, y para saber qué tipo de antocianinas están presentes debe realizarse más de un tipo de estudio, usualmente combinando HPLC (Gao, 1995) y espectroscopía, también es posible utilizar un proceso de fiteo de bandas que permite conocer posición y absorbancia de las bandas constituyentes. Por lo tanto es necesario el desarrollo de nuevas alternativas que ayuden a controlar el número de brotes provocados por microorganismos patógenos asociados a su consumo en fresco y el rápido deterioro de este producto, principalmente causado por mohos.

Existen diferentes estrategias que van desde tecnologías químicas, físicas y biológicas hasta métodos combinados aplicados para la descontaminación microbiana de arándanos frescos y productos derivados (Janisiewicz y Conway, 2011; Schenk et al., 2012).

En este capítulo se describe los ensayos a nivel laboratorio de métodos de conservación no convencionales, amigables con el medio ambiente, evaluando el efecto sobre la conservación del fruto arándano. Se evaluó la composición para determinar algún componente nuevo, algún componente no deseado y/o la alteración de los componentes más importantes, como también las propiedades organolépticas. Se utilizó frutos conservados a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 6 meses y se les aplicó diferentes métodos no convencionales, siempre reservando una muestra testigo. Se ensayaron aplicaciones de diferentes intensidades de pulsos de microondas. A cada muestra se le evaluó carga microbiana, polifenoles totales, actividad antirradicalaria y se realizó espectros UV-Vis. Además, se ensayaron aplicaciones de pulsos de radiación UV de 254 nm y 365 nm pulsadas y continuas. Luego con el fruto recién cosechado se realizó el estudio de contenido fenólico total, actividad antirradicalaria, espectros UV-Vis y pérdida de peso al jugo de frutos sin tratamiento y de aquellas que se sometieron a irradiaciones en función del tiempo. Se ensayaron aplicaciones de pulsos de radiación UV de 254 nm (con y sin zarandeo), luz blanca (continua y pulsada), y microondas de baja intensidad.

3.2 Fruto congelado

3.2.1 Efecto de pulsos de microondas sobre arándanos

Se evaluó el tratamiento físico utilizando irradiación microondas. La energía del microondas es una radiación electromagnética no ionizante con frecuencias en la gama de 300 MHz a 300 GHz. En el espectro electromagnético se encuentran entre

el rango más bajo de frecuencias de radio y la luz visible e infrarroja a frecuencias más altas (Figura 3.1) (Ramaswamy and Tang, 2008; Leonelli and Masón, 2010).

En la figura 3.1 se observa una representación del espectro electromagnético indicando la región microonda.

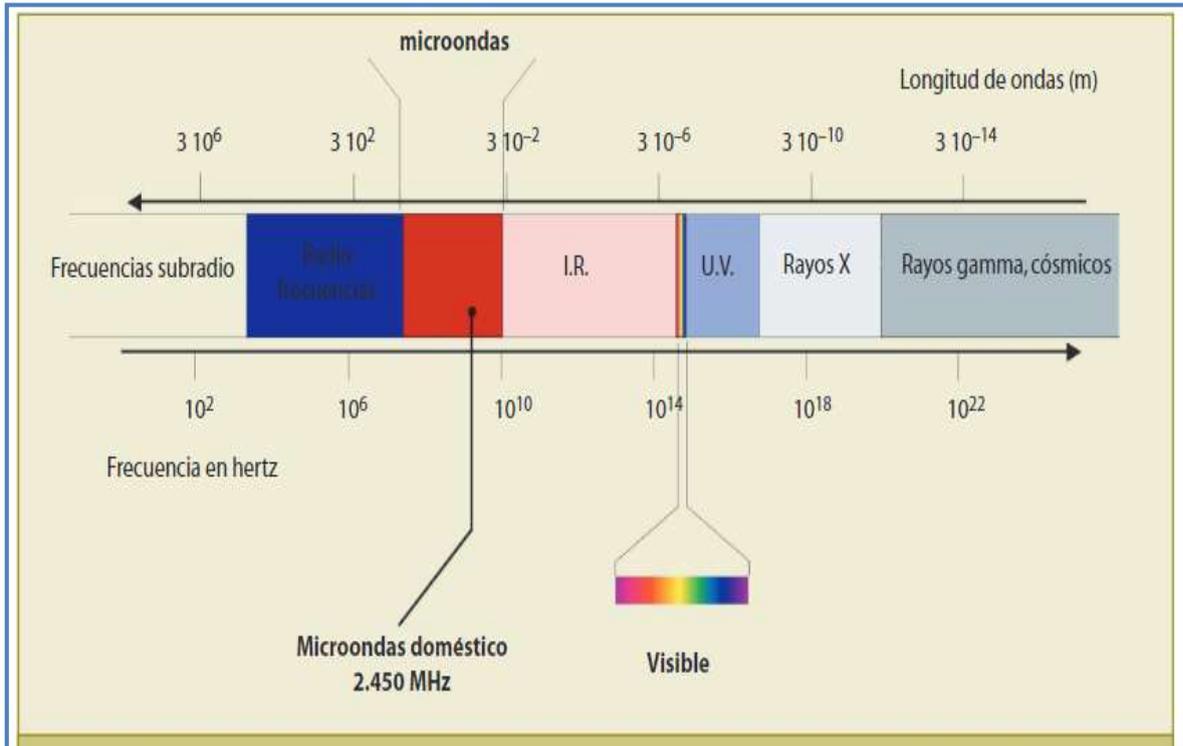


Figura 3.1. Espectro electromagnético.

El microondas se compone de tres partes principales: magnetrón, guía de onda y cavidad del horno. El magnetrón es el dispositivo principal, ya que genera las microondas, convierte la potencia eléctrica ordinaria en ondas electromagnéticas pequeñas, dependiendo de la frecuencia, la potencia es absorbida por el agua y otros componentes de los alimentos resultando una vibración continua y veloz (Decareau and Peterson, 1986; Sharma et al., 2001).

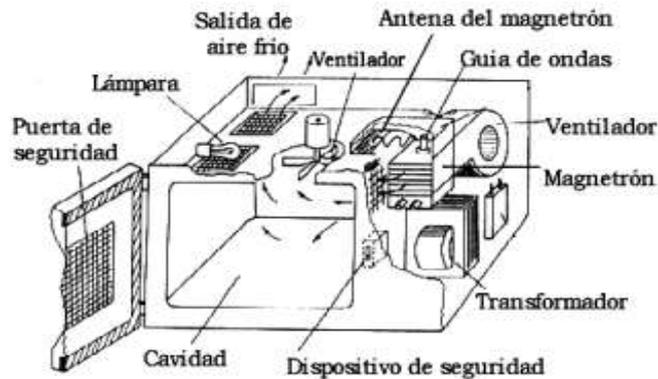


Figura 3.2. Componentes del microondas.

En la industria de los alimentos, las frecuencias establecidas para el procesamiento con microondas son las de 2450 y 915 MHz (USDA et al., 2000). Cuando el alimento es sometido a irradiación por microondas, el calor es producido dentro del alimento debido a la vibración de las moléculas de agua originada por la absorción de energía. Este movimiento entre las moléculas causa una fricción interna, la cual a su vez da lugar a unas condiciones hipertérmicas que afectan a las moléculas ionizables y polares (sales minerales y agua, principalmente) e interfieren en las membranas celulares disminuyendo la actividad fisiológica y de supervivencia. (Velásquez, 2008).

Las microondas se utilizan principalmente para el calentamiento, descongelación y cocción doméstica. Se ha investigado a fondo la aplicación de microondas en el área de alimentos, especialmente como tratamiento térmico inhibidor de microorganismos patógenos, para esterilizar, escaldado, secado, deshidratación, pasteurización y extracción asistida con microondas en aceites vegetales y en diversos jugos de frutas, en donde los reportes indican que se obtiene un mayor contenido de compuestos bioactivos como los polifenoles (Schiffman, 1990). El proceso de extracción asistido por microondas demostró ser más eficiente en la extracción de polifenoles y no se observó diferencia respecto de la actividad,

siendo una técnica sencilla de aplicar. (Micheloni et al., 2019) (Sanhueza-Celsi, 2009; Espinoza et al., 2016).

Diversos trabajos citan la reducción en el número de microorganismos al ser tratados con microondas, pero no la destrucción total (Villamiel, 2006), (Peng, 2017). Según Tang, el proceso de pasteurización mediante microondas 915 MHz permite controlar los microorganismos patógenos y ofrecer productos de alta calidad. Después de calentar de dos a cuatro minutos el producto hasta 90 °C, que es inferior al punto de ebullición del agua, el número de bacterias patógenas se pueden reducir en los alimentos ensayados en un millón de veces (Tang, 2015).

A continuación se muestra la evaluación de la calidad del jugo y cáscara de arándano, luego de aplicarle diferentes intensidades de pulsos de microondas.

3.2.1.1 Materiales y métodos

Se utilizó frutos arándanos, variedad Jewell provistos por el empaque “Tierra de Arándanos S.R.L.” ubicado en Orán, Monteros provincia de Tucumán cosechados en el mes de octubre. Los frutos arándanos fueron seleccionados y recolectados manualmente, evitando aquellos que presentaban daños causados por insectos y otros factores como la humedad de las lluvia de la época.

Para reducir el deterioro postcosecha, los frutos inmediatamente recolectados fueron colocados en bandejas de polietilentereftalato (clamshells) y almacenados a $(4 \pm 0,5)$ °C hasta ser transportados al laboratorio, donde se desecharon impurezas, posteriormente fueron conservados a -18° C durante 180 días hasta ser sometidos a ensayo.

Los arándanos recibidos se dividieron en 4 muestras, cada una contenía 40 frutos. Una de ellas sirvió de testigo y a las 3 restantes se les aplicó diferentes dosis de radiación, cada muestra fue dividida en 4 lotes:

- 1 – Muestra testigo, sin radiación
- 2– Muestra con 5 aplicaciones de pulsos de 1s, separados 1s c/pulso con potencia $P = 5W$ (Baja Intensidad)
- 3– Muestra con 5 aplicaciones de pulsos de 1s, separados 1s c/pulso con potencia $P= 65 W$ (Media Intensidad)
- 4– Muestra con 5 aplicaciones de pulsos de 1s, separados 1s c/pulso con potencia $P=160 W$ (Alta Intensidad)

Equipo utilizado:

Microondas: se utilizó un horno microondas marca TCL, modelo 20P10M (Argentina), de 700 W de potencia máxima. La muestra se colocó en un envase de polietileno (apto para microondas) de 15 cm de diámetro.

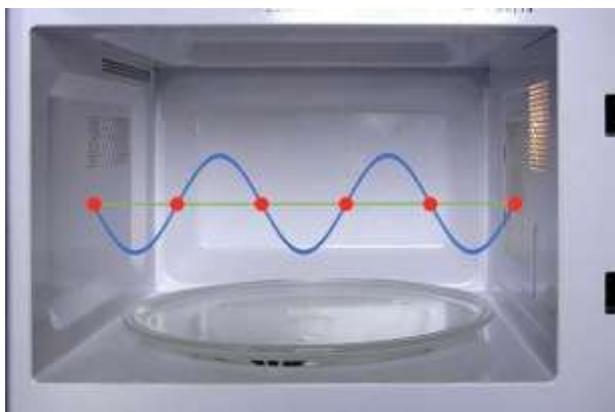


Figura 3.3. Equipo utilizado.

A cada muestra se le evaluó actividad antirradicalaria, polifenoles totales, espectros UV-Vis y carga microbiana antes de la aplicación y 10 días posteriores. Todas las muestras luego de la irradiación se conservaron a 4 °C y 70 % de humedad. En todos los casos se mantuvieron idénticas las condiciones de Presión y Temperatura de las muestras y en las aplicaciones de radiación se conservó la cantidad de muestra.

Determinación de actividad antirradicalaria y compuestos fenólicos totales

Preparación de los extractos para los análisis

Jugo de fruto completo: Se trituraron los frutos en el mortero y se maceró con etanol ácido (con HCl al 0,3 % v/v) durante 24 h a temperatura ambiente en un frasco oscuro. Se filtró y se realizó una segunda y tercera extracción del residuo sólido. Luego se reunieron todos los filtrados obtenidos y se evaporó a sequedad usando un evaporador LABOROTA 4000.

Cáscara: Se separó la cáscara de la pulpa del fruto y se maceró con etanol ácido siguiendo la misma metodología que se utilizó para la obtención del extracto de jugo de fruto completo.

Los extractos fueron conservados a 4 °C hasta la determinación de compuestos fenólicos totales y actividad antirradicalaria.

Determinación de compuestos fenólicos totales

El contenido de fenoles totales en el extracto de cada muestra se determinó por el método de Folin-Ciocalteu. Metodología descrita en el capítulo 2 (pag. 53).

Actividad antirradicalaria

Se determinó la actividad antirradicalaria en los extractos del fruto completo de cada muestra, empleando el bioensayo "in vitro" del radical DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidracilo). Metodología descrita en el capítulo 2 (pag. 52).

Determinación de compuestos fenólicos por UV-Vis

Se trituraron los frutos en el mortero y luego de filtrarlo se obtuvo el jugo. Se hicieron distintas diluciones con agua destilada, 20 %, 2 %, 0,2 %. Para realizar los espectros se utilizó Espectrofotómetro HITACHI U-1900.

Los espectros UV-Vis se realizaron al 100 %, 20 %, 2 % y 0,2 % a fin de evaluar detalladamente las distintas componentes que se aprecian en el espectro.

Determinación de UFC (Hongos)

Se realizó por el método de siembra en superficie sobre Agar papa dextrosa, suplementado con cloramfenicol (Merck) e incubando a 28 °C por 5 días bajo condiciones aeróbicas.

3.2.1.2 Resultados y Discusión

Actividad antirradicalaria y compuestos fenólicos totales

Los frutos arándanos estudiados presentan contenidos en fenoles totales similares a los encontrados en la bibliografía para arándanos cultivados de distinta procedencia (Vázquez, 2015), como se pueden observar en las tablas 3.1, 3.2 y 3.3.

Tabla 3.1. Valores medios y desviación estándar del Contenido fenólico total y actividad antirradicalaria a distintas concentraciones en el jugo y en la cáscara antes de ser irradiado.

Extractos Etanólicos	Actividad Antirradicalaria			Fenoles Totales [mEAG/100 g muestra]
	[100 µg/ml]	[50 µg/ml]	[10 µg/ml]	
Jugo Fruto Completo	85,87 ± 0,14 %	55,78 ± 0,32 %	9,07 ± 0,26%	460 ± 30
Cáscara	78,98 ± 0,16 %	50,71 ± 0,23 %	8,33 ± 0,18%	450 ± 30

Todas las determinaciones se han realizado por triplicado, por ello los resultados se expresan con la media y la desviación estándar

Tabla 3.2. Valores medios y desviación estándar del Contenido fenólico total y actividad antirradicalaria a distintas concentraciones en el jugo y en la cascara después de ser irradiado a baja intensidad.

Extractos Etanólicos	Actividad Antirradicalaria			Fenoles Totales [mEAG/100 g muestra]
	[100 µg/ml]	[50 µg/ml]	[10 µg/ml]	
Jugo Fruto completo	81,02 ± 0,29 %	51,2 ± 0,43 %	8,17 ± 0,14 %	300 ± 20
Cáscara	77,39 ± 0,16 %	49,69 ± 0,25 %	8,05 ± 0,16 %	300 ± 20

Todas las determinaciones se han realizado por triplicado, por ello los resultados se expresan con la media y la desviación estándar

Tabla 3.3. Valores medios y desviación estándar del Contenido fenólico total y actividad antirradicalaria a distintas concentraciones en el jugo y en la cascara después de ser irradiado a alta intensidad.

Extractos Etanólicos	Actividad Antirradicalaria			Fenoles Totales [mEAG/100 g muestra]
	[100 µg/ml]	[50 µg/ml]	[10 µg/ml]	
Jugo Fruto completo	78,48 ± 0,26 %	50,38 ± 0,34 %	8,27 ± 0,52 %	300 ± 20
Cáscara	71,35 ± 0,32 %	45,81 ± 0,47 %	7,25 ± 0,46 %	300 ± 20

Todas las determinaciones se han realizado por triplicado, por ello los resultados se expresan con la media y la desviación estándar

El contenido de polifenoles totales de los frutos irradiados disminuyó un 30% respecto al testigo en el período estudiado de 10 días; y no se observa diferencia entre tratamientos en la potencia alta y baja. Respecto a la actividad radicalaria se observan diferencias entre los frutos tratados con microondas y el testigo: mientras que los valores no difieren entre los frutos irradiados con alta y baja potencia durante los 10 días del ensayo. Un estudio realizado por Buratti et al.

(2020), en muestras de coliflor, zanahoria y batatas, sometidas a ebullición, cocción al vapor y microondas, evidenció que las condiciones de tiempo, temperatura y potencia influyen sobre las características de los alimentos. Las muestras tratadas con microondas evidenciaron un aumento en el contenido de polifenoles totales, debido al ablandamiento de los tejidos vegetales, la ruptura de complejos polifenol-proteína y la liberación de compuestos fenólicos libres y derivados de la hidrólisis de compuestos de alto peso molecular. La aplicación de microondas a 2450 MHz en jugo de naranja evidenció una mayor conservación de ácido ascórbico, carotenoides y compuestos fenólicos, en comparación a una pasteurización convencional; además, se observó menor pardeamiento y mayor actividad antioxidante (Martins et al., 2021). De igual manera, Yanpei Chen et al. (2021), reportaron que la aplicación de microondas en frutas de caqui a alta potencia (539 W/1,5 min) y baja potencia (231 W/3 min), extendió su vida útil debido al retraso en el ablandamiento. Además, se frenó la degradación de la celulosa y la pectina, este aspecto es positivo considerando que esta fruta es muy sensible y que su vida útil es de 3-4 días. Mientras que la aplicación de 1000 W/10 min a orujos de uvas permitió un aumento del rendimiento en un 45% en la extracción de antocianinas; sin embargo, al emplear una solución de agua acidificada como disolvente, el contenido de antocianinas se vio afectado y el rendimiento fue inferior (Brown da Rocha & Zapata Noreña, 2020). Por otro lado, se analizó el efecto de las microondas en tomate (Baltacioğlu et al., 2021), y se determinó que las condiciones óptimas para la extracción de compuestos fenólicos totales, son 900 W por 90 s.

Espectros UV-Vis

En la figura 3.4 se observa el espectro UV-Vis de la muestra testigo sin irradiación al 100 %, diluida al 20 % y 2 %.

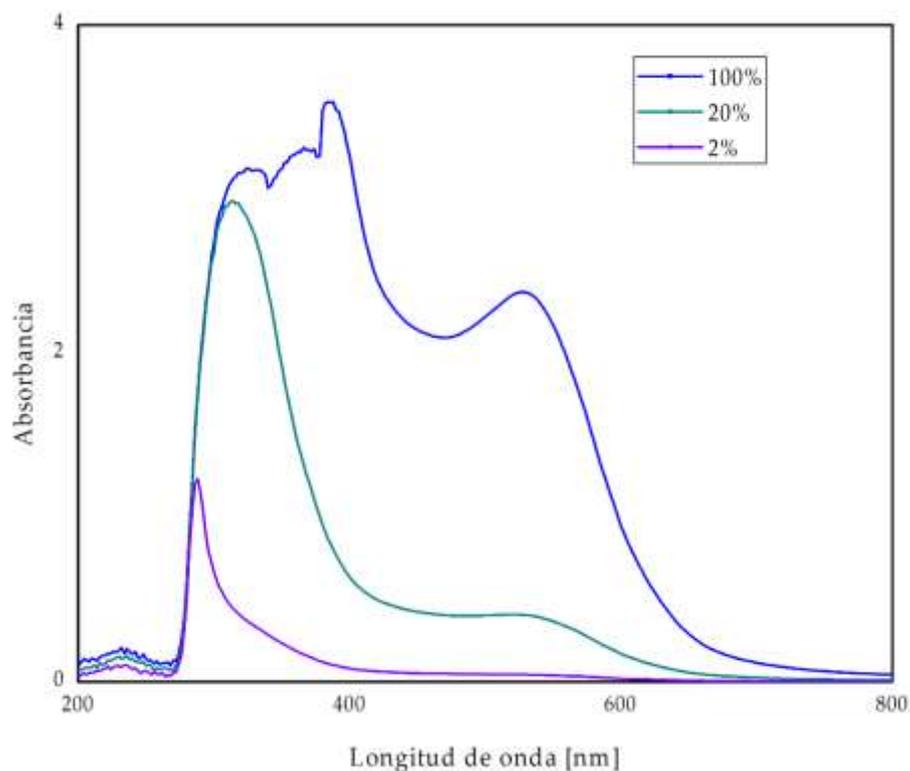


Fig. 3.4. Espectro UV-Vis de jugos al 100 % y diluídos al 20 % y 2 % sin radiación.

En la figura 3.4 se observa un pico entre 200 y 300 nm, en los espectros al 100 %, 20 % y 2 % que corresponde a la característica de banda de benzoilo o banda II. En el de 20 % ya se aprecian con claridad la banda al 538 nm y 375 nm. A menores diluciones la banda de 384 nm se hace muy evidente.

En las figs. 3.5 y 3.6 se pueden ver en los espectros UV-Visible que se obtienen de las muestras luego de aplicar el proceso de conservación de los arándanos utilizando irradiación con microondas.

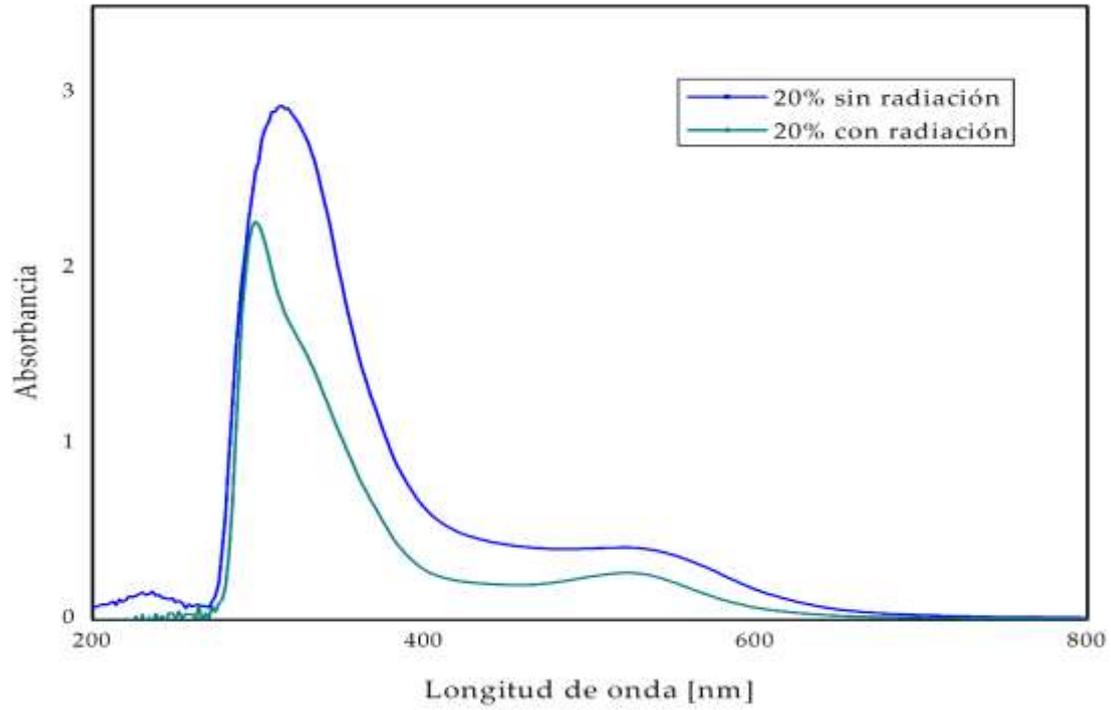


Fig.3.5. Espectro UV-Vis de jugos diluídos al 20 % --- con radiación y --- sin radiación.

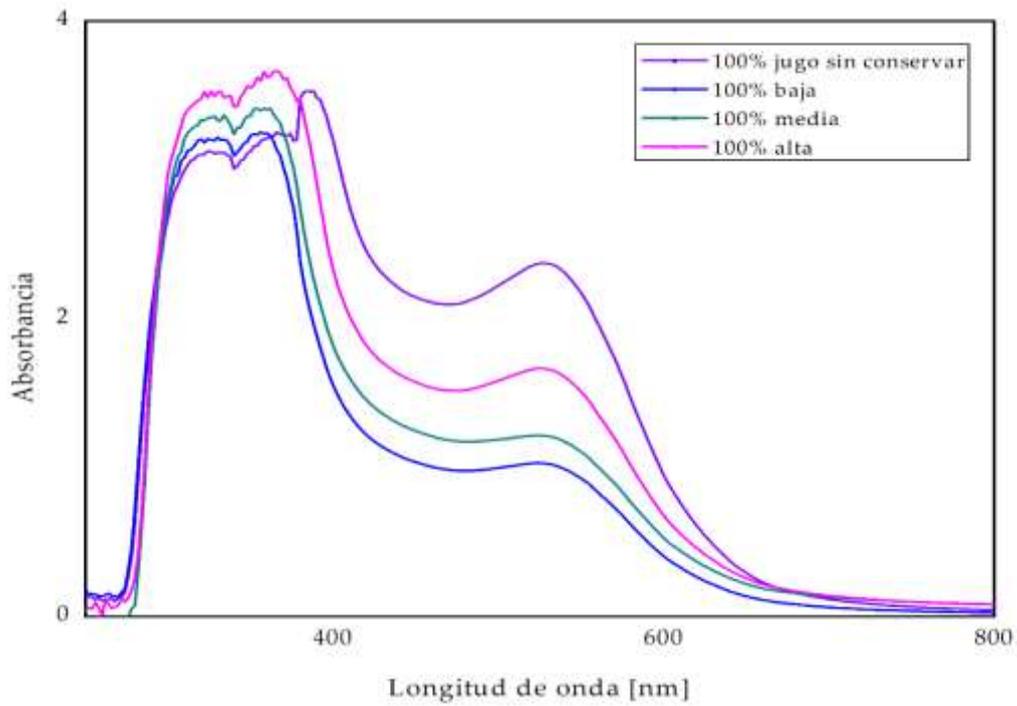


Fig. 3.6. Espectro UV-Vis de jugos al 100 % con y sin radiación.

Al realizar el proceso de conservación de los arándanos utilizando irradiación con microondas se puede ver en los espectros UV-Vis:

- a) los espectros UV muestran una banda intensa en la región 200-300 nm.
- b) el de mayor potencia siempre presenta valores mayores de absorbancia que los de media y baja potencia.
- c) las bandas componentes en la zona 200-300 nm se desplazan, lo que muestra que con el proceso de irradiación las especies no se ven afectadas del mismo modo, como se observa en las figuras 3.5 y 3.6. Se observa que a mayor potencia crecen los valores de absorbancia. Según Mohammad Salamatullah et al. (2021), la cocción mediante microondas es un método efectivo para el aumento de compuestos nutricionales en berenjena. Este alimento fue tratado por microondas a una potencia de 900 W de forma ligera, media y alta, y se observó un aumento del contenido total de polifenoles y la actividad antioxidante. Sin embargo, algunos compuestos fenólicos pueden sufrir degradación, autooxidación y polimerización, como por ejemplo el ácido clorogénico, lo que conlleva a la reducción y liberación de otros compuestos bioactivos, los cuales pueden compensar la pérdida de algunas sustancias o incluso aportar en el aumento de la actividad antioxidante.
- d) la banda en la zona de 400-600 nm es muy afectada por el proceso, disminuyendo fuertemente la absorbancia.
- e) en la zona de 520 nm hay una banda ancha, probablemente resultado de superposición de varias bandas, disminuyendo fuertemente la absorbancia, pero el pico de la banda compuesta permanece en 527 nm con el proceso de radiado, disminuyendo un 30 % para la de potencia alta, un 48 % para la de media y 57 % para el de baja potencia.
- f) en la zona de 200-300 nm las absorbancias crecen, pero con la misma secuencia que para el caso de la banda de 500 nm.

g) la banda de 384 nm casi desaparece.

h) la banda en 324 nm mantiene el valor del pico y su crecimiento es casi siete veces más pequeño que la disminución de la banda de 500 nm. Crece 3 % para la de baja potencia, 7 % para la de media y 13 % para la de potencia alta.

i) para la banda de 366 nm, se observa un corrimiento hacia menores frecuencias con la irradiación, con valores de incremento similares a la banda de 324 nm.

Buratti et al. (2020) señalan los parámetros y el efecto de la aplicación de microondas en algunas frutas y vegetales. De manera general en alimentos como: la uva, piña, zanahoria, arándanos y frambuesa, se observa una conservación o disminución de los cambios sensoriales como: textura, color, olor y brillo. Además, se observó un aumento de los compuestos bioactivos y por ende una mayor extracción de los mismos; sin embargo, a potencias mayores a 400 W el contenido de polifenoles puede verse afectado y disminuir, debido a que los largos procesos y las altas temperaturas inducen a la pérdida de pigmentos.

Determinación de unidades formadoras de colonias (Recuento total de hongos)

En la tabla 3.4 se observan los valores del contenido de unidades formadoras de colonia para el fruto antes de irradiar y luego de ser irradiadas con microondas a baja y alta potencia.

Tabla 3.4: Valores del Contenido de unidades formadoras de colonias (hongos) antes y después de ser irradiado a los 10 días.

Fruto Completo	UFC /g de fruta
Antes de irradiar	6200
Después de irradiar (baja)	1562
Después de irradiar (alta)	606

El testigo mantiene un valor mayor que los frutos irradiados y son mayores a potencia baja que a alta, a los 10 días del ensayo.

En coincidencia con los mostrado, en los últimos años se han desarrollado tecnologías no térmicas que permiten mejorar la inocuidad de los alimentos, sin afectar las características funcionales, nutricionales y sensoriales (Kyung et al., 2019), como las altas presiones, microondas y radiofrecuencia, que, a más de disminuir la carga microbiana, son capaces de inactivar las enzimas generadoras de deterioro (Orrego et al., 2020). Así se desarrollaron tratamientos hidrotérmicos asistidos con microondas en frambuesa (*Rubus idaeus* L.) de la variedad roja, con el fin de evitar el decaimiento por podredumbre gris causado por el hongo *Botrytis cinerea*. Se tomaron cuatro uno testigo y en los otros tres se agregó agua (100 g de frambuesas en 200 g de agua), las cuales fueron tratadas en un horno de microondas a potencias de 269 W, 379 W y 473 W (potencia baja, media y alta, respectivamente). Después de 14 días de almacenamiento, las frambuesas tratadas con microondas no presentaron presencia de mohos. El tratamiento que recomendado fue 269 W, que no presentó cambios en sus propiedades fisicoquímicas y biocomponentes- (Flores – López, 2017)

Análisis estadístico

Los resultados obtenidos se analizaron estadísticamente mediante el software InfoStat mediante análisis de varianza (ANOVA). La comparación de medias se realizó mediante el Test de Mínima Diferencia de Fisher (LSD) con un nivel de confianza del 95 %.

3.2.1.3 Conclusión

La variedad estudiada presenta contenidos en fenoles totales (460 mg/ 100 g de fruto fresco) similares a los encontrados en la bibliografía para arándanos cultivados de distinta procedencia.

El contenido de compuestos fenólicos totales de los frutos irradiados disminuyó un 30 % respecto al testigo en el periodo estudiado de 10 días; y no se observa diferencia entre tratamientos en la potencia alta y baja.

La actividad antirradicalaria es diferente entre los frutos tratados con microondas y el testigo: mientras que los valores no difieren entre los frutos irradiados con alta y baja potencia durante los 10 días del ensayo.

El proceso de irradiación afecta de distinta manera las especies, presentando las de alta potencia valores mayores de absorbancia frente a los de media y baja potencia.

El contenido de unidades formadoras de colonias es mayor en el testigo (6200 UFC/g de fruta) que en los frutos irradiados, siendo mayores a potencia baja potencia (1562 UFC/g de fruta) que alta potencia (606 UFC/g de fruta) a los 10 días del ensayo.

Por las razones expuestas los procesos de radiado con microondas no parecen ser apropiados ya que a pesar de que la población de hongos disminuye sensiblemente, hay una variación significativa de la clase de compuestos fenólicos presentes.

3.2.2 Efecto de radiación UV sobre arándanos

La radiación ultravioleta UV es la parte del espectro electromagnético que está junto a la luz visible y de mayor energía. El espectro ultravioleta se extiende de 180 a 400 nm y está dividido en tres categorías generales:

- Ultravioleta de onda corta (UV-C) se extiende de 180 a 280 nm, con un pico de energía en aproximadamente 254 nm.
- Ultravioleta de alcance medio (UV-B) se extiende de 280 a 320 nm, con un pico de energía en aproximadamente 302 nm.
- Ultravioleta de onda larga (UV-A) se extiende de 320 a 380 nm, con un pico de energía en aproximadamente 365 nm.

Se evaluó el efecto de la radiación UV 254 nm y UV 365 nm, correspondiente a la zona germicida, de modo continuo y pulsado, para evaluar el efecto en la conservación de los frutos de arándanos.

En el esquema 3.7 se muestran los ensayos usando radiación UV 254 nm y UV 365 nm

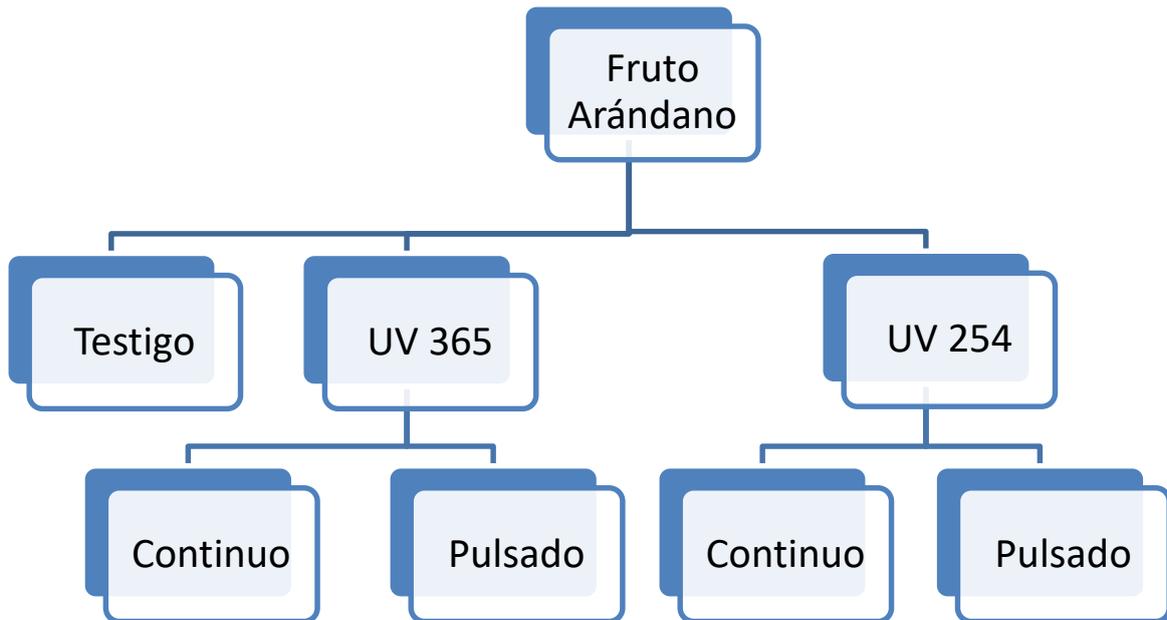


Fig. 3.7. Esquema de aplicación de métodos de irradiación en arándanos congelados usando UV 254 nm y UV 365 nm, de manera continua y pulsada.

3.2.2.1 Materiales y métodos

Después de la cosecha, las frutas se empacaron en bolsas de polietileno, se congelaron en congeladores domésticos a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ y se almacenaron por seis meses. La temperatura del centro de los arándanos se midió con un termómetro digital. Previo al análisis, los arándanos se descongelaron a temperatura ambiente ($14\text{ }^{\circ}\text{C}$, 1,5 h).

Los análisis se realizaron después de la congelación y en bayas después de 7 días de conservación.

Los arándanos recibidos se dividieron en 5 muestras, cada una contenía 20 frutos. Una de ellas sirvió de testigo y a las 4 restantes se les aplicó diferentes dosis de radiación, cada muestra fue dividida en 4 lotes:

1 – Muestra testigo.

2– Muestra con 5 aplicaciones de pulsos de 1 s, separados 1 s c/pulso con radiación UV 254 nm, cada frente del fruto estático para radiar el fruto completo, con un total de 10 s.

3– Muestra con 5 aplicaciones de pulsos de 1s, separados 1 s c/pulso con radiación UV 365 nm, de cada frente del fruto estático para radiar el fruto completo,, con un total de 10 s.

4– Muestra con 2 aplicaciones de pulsos de 5 s, (irradiación continua) UV 254 nm de cada frente, con un total de 10 s de exposición.

5– Muestra con 2 aplicaciones de pulsos de 5 s, (irradiación continua) UV 365 nm, de cada frente, con un total de 10 s de exposición.

Equipo utilizado

Para las distintas aplicaciones se usó el gabinete de visualización UV C-75 Chromato-Vue 254/365 nm SW/LW-UVP. La figura 3.8 muestra imágenes del equipo usado.



Figura 3. 8. a. Equipo utilizado para la irradiación de los frutos arándanos a nivel laboratorio. b. Interruptores de control para la selección de las distintas longitudes de onda UV o la luz blanca superior del interior. c. Frutos arándanos a ser tratados.

A cada muestra se le realizó espectros UV-Vis para el tiempo inicial, correspondiente al momento de realizada la aplicación y a los 7 días posteriores. Las muestras luego de la irradiación se conservaron a temperatura ambiente (temperatura promedio 14 °C), 70 % de humedad y presión atmosférica (978 hPa), considerando la situación de conservación más desfavorable para asegurar cumplir los requerimientos de exportación.

En todos los casos se mantuvieron idénticas las condiciones de Presión y

Temperatura de las muestras y en las aplicaciones de radiación se conservó la cantidad de muestra y la geometría de la celda de aplicación. Se utilizó como testigo dos muestras, una se conservó bajo la luz y la otra en la oscuridad.

Los espectros UV-Vis se realizaron con el jugo del fruto arándanos al 100 %, 20 %, 2 % y 0,2 %.

3.2.2.2 Resultados

En la figura 3.9 se observa el espectro UV-Vis de la muestra sin radiación al 100 % y muestras al 100 % tratada con irradiación UV 254 nm y 365 nm de manera continua y pulsada inmediatamente luego del tratamiento.

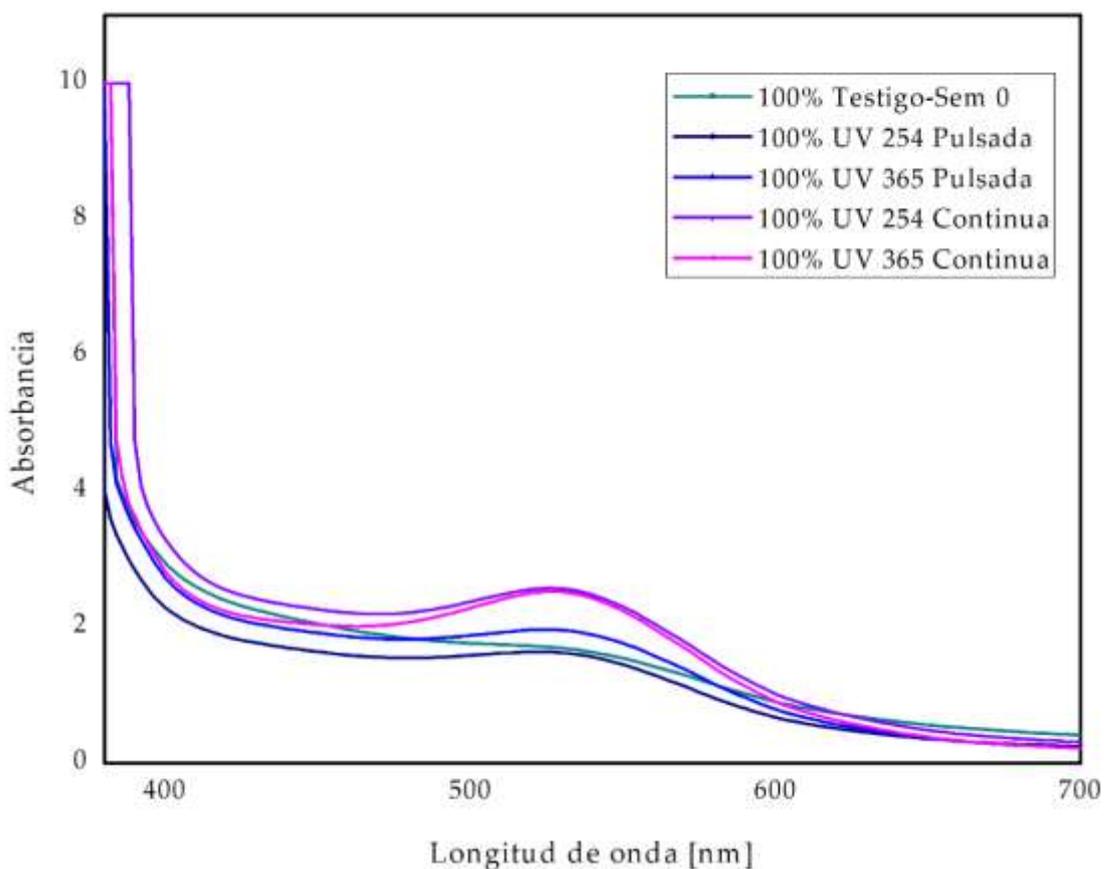


Fig. 3.9. Espectro UV-Vis de la muestra Testigo al 100 % (sin radiación), 100 % con UV 254 pulsada, UV 365 pulsada, UV 254 nm continua y UV 254 nm continua inmediatamente luego del tratamiento.

En el espectro de la muestra testigo al 100 % se ve que las bandas en la zona de 400 a 600 nm decrecen en forma significativa. Se observa un incremento significativo en la zona de 400 a 600 nm, aproximadamente del 30 % con radiaciones UV 254 y UV 365 continua respecto a la muestra testigo. Para el caso de la radiación a 365 nm pulsada nm el incremento en la zona de 400 a 600 nm es menor al 10 % respecto a la muestra testigo. Es notable la cercanía de los picos de la muestra irradiada con UV 254 a la muestra testigo, aproximadamente a 538 nm.

En la figura 3.10 puede observarse el espectro UV-Vis de las muestras sin radiación al 20 % conservadas bajo luz y oscuridad durante 7 días y las muestras al 20 % tratadas con irradiación UV 254 nm y 365 nm de manera continua y pulsada a los 7 días.

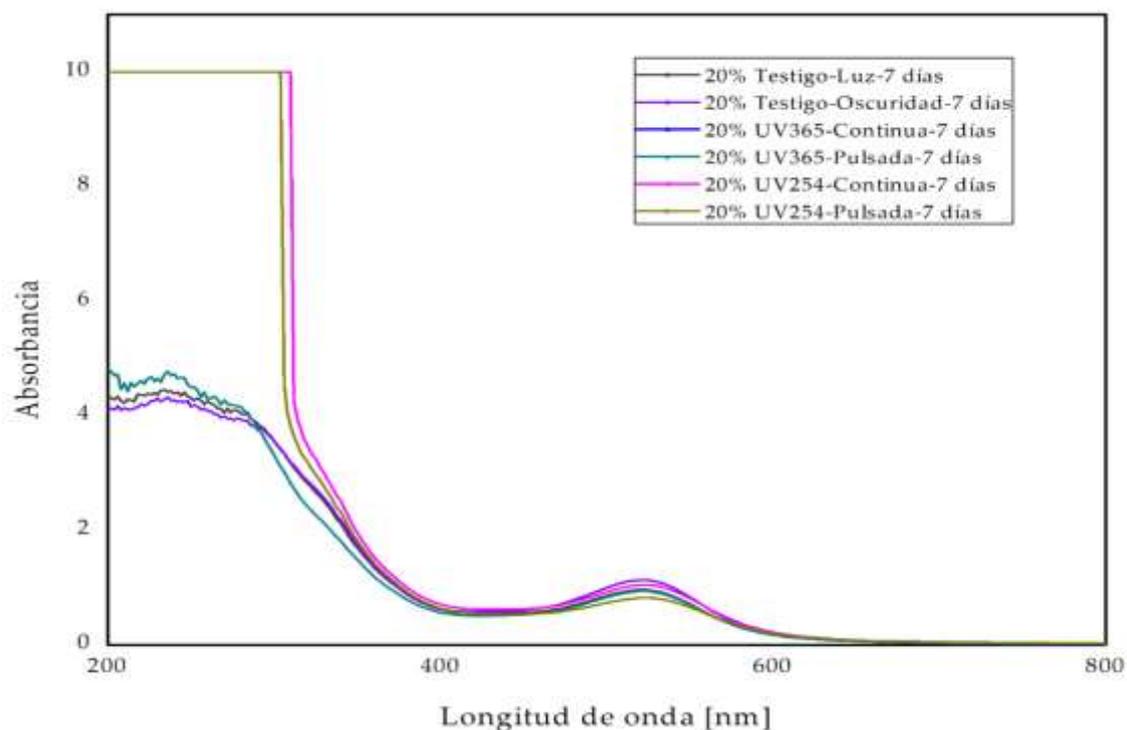


Figura 3.10. Espectro UV-Vis de ---- muestra Testigo al 20 %, bajo luz (sin radiación), --- muestra Testigo al 20 %, bajo oscuridad (sin radiación), --- irradiada con UV 254 continua al 20%, --- irradiada con UV 254 pulsada al 20 %, --- irradiada con UV 365 continua e --- irradiada con UV 365 pulsada al 20 % a los 7 días.

Al cabo de una semana los espectros UV de la muestra Testigo (20 %) y radiados con UV 254 y 365 continua y pulsada (20 %) muestran que (ver figura 3.10):

Hay un decrecimiento importante, de más 300 % en la zona de 200 a 400 nm para todas las muestras salvo la tratada con UV 254 nm. Se han realizados pocos estudios en poscosecha respecto a la irradiación ubicada entre los 400-320 nm, la cual, tiene más interés en cultivo dado que es la que llega del sol en mayor cantidad y afecta al desarrollo vegetal (Morales et al., 2010). Los experimentos de atenuación de campo son la fuente de información más confiable sobre los efectos de los rayos UV-A. Las respuestas comunes de las plantas a los rayos UV-A incluyen efectos tanto inhibidores como estimulantes sobre la acumulación y morfología de la biomasa. Los efectos de los rayos UV-A incluyen efectos frecuentemente Inroducción general 43 inhibidores de la acumulación de biomasa, aunque estimulante de ciertas facetas del metabolismo. Estos efectos pueden a su vez variar dependiendo del órgano considerado. (Verdaguer et al., 2017). Mientras que, respecto a la irradiación UV a 254 nm algunos estudios han demostrado que los tratamientos con este tipo de radiación puede ser beneficioso para la acumulación de polifenoles con actividad antimicrobiana en las superficies de las frutas. Este incremento se explica a través de la inducción de la enzima fenilalanina amonio liasa (PAL) (Ortiz Araque, 2018), además, de mejorar la actividad de algunas enzimas, inhibe el crecimiento microbiológico, indicando la efectividad germicida de la radiación UV-C, la cual varía entre especies de microorganismos (Millán Villarroel, 2013), e induce la expresión genética de resistencia a enfermedades, retrasando así la senescencia de las frutas y hortalizas frescas. Cuando los microorganismos fitopatógenos invaden el tejido vegetal, la actividad de la enzima PAL del metabolismo secundario, la síntesis de lignina y la resistencia a la oxidación se regulan para resistir a los fitopatógenos (Xu, et al., 2016). Se ha reportado que la irradiación UV-C no produjo cambios en el contenido de fenoles totales en pimiento fresco cortado (Rodoni, 2015). Otros

autores observaron que luego del almacenamiento, las frutillas tratadas con radiación UV-C presentaron un 25 % más en el contenido de antocianinas que la muestra control (Cote et al., 2013), indicando que el tratamiento con UV 254 nm sería una alternativa a considerar para el tratamiento de arándanos frescos.

Finalmente, todas las frutas tratadas con radiación presentaron un aspecto turgente y de colores muy brillantes al cabo de una semana y con escasa o nula presencia de hongos.

3.2.2.3 Conclusiones

El jugo de fruta presenta un incremento de absorbancia en la zona de 400 a 600 nm al cabo de una semana.

En la zona de 200 a 400 nm se observa un decrecimiento de más del 300 % y las estructuras de bandas se hacen muy evidentes.

Es recomendable conservar el fruto en la oscuridad, ya que los polifenoles son termolábiles.

El proceso de irradiación con UV se presenta como promisorio para conservar fruta, pero debe ser pulsado y con una longitud de onda de 254 nm.

3.3 Fruto recién cosechado

Se evaluó el efecto de la radiación Microondas, UV 254 Pulsado con y sin zarandeo, y visible continuo y pulsado en la conservación de los frutos de arándanos recién cosechados. Después de la cosecha, las frutas se reservaron a 4 °C hasta su análisis.

En la figura 3.11 se muestran los ensayos usando radiación UV 254 nm, UV 365 nm y microondas

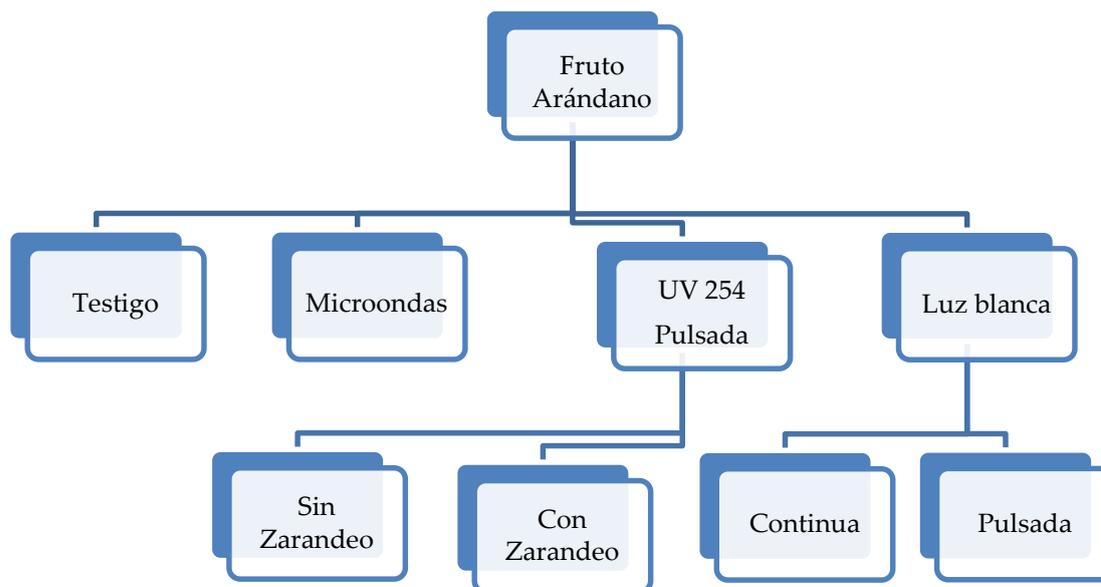


Fig. 3.11. Esquema de aplicación de distintos métodos de irradiación en arándanos recién cosechados usando UV 254 nm y UV 365 nm, de manera continua y pulsada.

3.3.1 Materiales y métodos

Se utilizó frutos arándanos, variedad Jewell provistos por el empaque “Tierra de Arándanos S.R.L.” ubicado en Orán, Monteros provincia de Tucumán cosechados en el mes de octubre. Los frutos arándanos fueron seleccionados y recolectados manualmente, evitando aquellos que presentaban daños causados por insectos y otros factores como la humedad de las lluvia de la época.

Para reducir el deterioro postcosecha, los frutos inmediatamente recolectados fueron colocados en bandejas de polietilentereftalato (clamshells) y almacenados a $(4 \pm 0,5) ^\circ\text{C}$ hasta ser transportados al laboratorio, donde se desecharon impurezas, posteriormente fueron sometidos a ensayo.

Los arándanos recibidos se dividieron en 6 muestras, cada una contenía 60 frutos. Una de ellas sirvió de testigo y a las 5 restantes se les aplicó diferentes dosis de radiación, cada muestra fue dividida en 4 lotes:

- 1- Muestra testigo
- 2- Muestra con 5 aplicaciones de pulsos microondas de 1 s, separados 1 s c/pulso con potencia $P = 5 \text{ W}$ (Baja Intensidad).
- 3- Muestra con 5 aplicaciones de pulsos de 1 s, separados 1 s c/pulso con radiación UV 254 nm, de cada frente del fruto estático para radiar el fruto completo, con un total de 10 s de exposición. UV254 P (sin zarandeo)
- 4- Muestra con 5 aplicaciones de pulsos de 1 s, separados 1 s c/pulso con radiación UV 254 nm de cada frente del fruto estático para radiar el fruto completo, con un total de 10 s de exposición. UV254 P (zarandeo)
- 5- Muestra con 1 aplicación de pulso de 5 s, (irradiación continua) luz blanca de cada frente del fruto estático para radiar el fruto completo, con un total de 10 s. VC
- 6- Muestra con 5 aplicaciones de pulsos de 1 s, separados 1 s c/pulso con luz blanca de cada frente del fruto estático para radiar el fruto completo, con un total de 10 s de exposición. VP

A cada muestra se le realizó evaluó espectros UV-Vis, y se le evaluó pérdida de peso, contenido fenólico total y actividad antirradicalaria, para el tiempo inicial, correspondiente al momento de realizada la aplicación y a los 7 días posteriores. Todas las muestras luego de la irradiación se conservaron protegidas de luz a temperatura ambiente (temperatura promedio $25 \text{ }^\circ\text{C}$), 70 % de humedad y presión atmosférica (978 hPa).

En todos los casos se mantuvieron idénticas las condiciones de Presión y Temperatura de las muestras y en las aplicaciones de radiación se conservó la cantidad de muestra y la geometría de la celda de aplicación.

Pérdida de peso

La pérdida de peso (PP) de los frutos de arándano fresco y tratados se evaluó midiendo el peso de los mismos en el día 0, 3, 5 y 7 de almacenamiento. Se uso

una balanza analítica con precisión de $\pm 0,01$ g. Se evaluó la PP en 10 frutos para cada condición. Los resultados fueron expresados como porcentaje de variación de peso con respecto al de la muestra fresca en el día 0, según la siguiente ecuación:

$$PP (\%) = \frac{(p_0 - p_t)}{p_0} \cdot 100 \quad (\text{ec. 3.1})$$

Donde:

PP (%) = porcentaje de pérdida de peso de la muestra

p_0 = peso inicial de la muestra al día 0

p_t = peso de la muestra a un tiempo t.

Espectrofotometría UV -Vis

Los espectros se realizaron con del fruto arándanos al 100 %, 20 %, 2 % y 0,2 %, en el rango de 190 a 1100 nm con un espectrofotómetro HITACHI U-1900 en cubetas de cuarzo con velocidad de registro de 800 nm/min.

Determinación de compuestos fenólicos totales

El contenido de fenoles totales en el extracto de cada muestra se determinó por el método de Folin-Ciocalteu. Metodología descrita en el capítulo 2.

Actividad antirradicalaria

Se determinó la actividad antirradicalaria en los extractos del fruto completo de cada muestra, empleando el bioensayo "in vitro" del radical DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidracilo). Metodología descrita en el capítulo 2.

3.3.2 Resultados

Los espectros UV Visible mostrados en la figura 3.12 indican bandas de absorción características en la región UV entre (250 y 370 nm) y visible (500 a 545 nm) e indica la presencia de antocianinas.

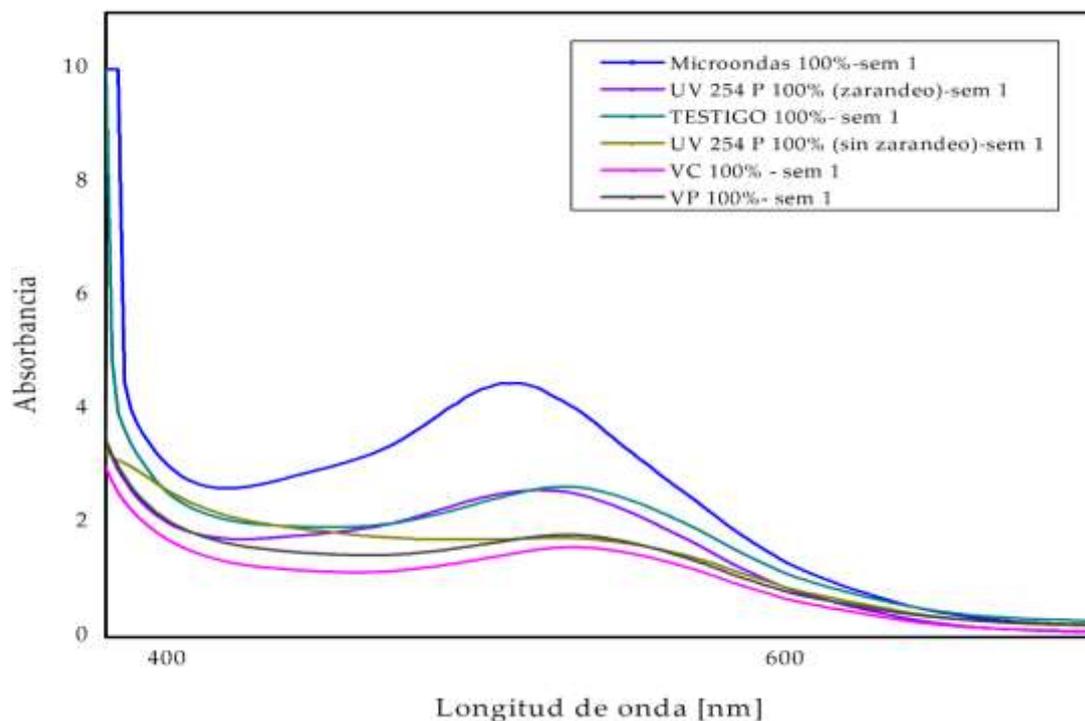


Figura 3.12. Espectro Temporal UV-Vis de muestra ----- testigo al 100 %, muestra irradiada ----- UV 254 pulsada (sin zarandeo) al 100 %, ----- UV 254 pulsada (zarandeo) al 100 %, ----- luz blanca continua al 100 % ----- luz blanca pulsada al 100%, irradiada con microondas. Todas a los 7 días.

Se observa que los extractos de los frutos tratados presentan absorbancias similares en forma y en intensidad a los del fruto no tratado.

Análisis de los espectros UV-Vis de los jugos 100 % con y sin método de conservación:

- a) la banda en la zona de 400-600 nm es afectada de diferente manera según el método de irradiación empleado.
- b) el pico de la banda compuesta permanece en 527 nm, siendo mayor para microondas y menor para radiación con luz blanca, pulsada o continua.
- c) VC y VP son los menores valores en el pico de la banda de 527 nm mientras que UV con zarandeo es mayor que UV sin zarandeo.

d) el testigo se ubica con valores semejantes a UV con zarandeo en la banda de 200 a 1000 nm

Pérdida de peso

La tabla 3.5 muestra la Pérdida de peso (%) a los 3, 5 y 7 días de la muestra Testigo (sin radiación), con radiación de luz blanca continua (LBC), luz blanca pulsada (LBP), UV 254 Pulsado con movimiento (UVPM), UV 254 Pulsado sin movimiento (UVP) y radiación Microondas (MOB).

Observándose que se mantuvo la tendencia de la pérdida de peso entre la muestra control y las tratadas a lo largo del tiempo. Si bien no se detectaron diferencias significativas, la muestra tratada con irradiación UV 254 nm y microondas registro una leve disminución de la pérdida de peso.

Tabla 3.5. Valores pérdida de peso (%) de arándanos expuestos a distintos métodos de radiación y almacenados durante 3,5 y 7 días.

Muestras	Días de almacenamiento (días)		
	3	5	7
Testigo	3,57	9,54	14,53
LBC	3,64	9,65	14,99
LBP	4,14	10,23	15,53
UVP	3,10	9,11	14,15
UVPM	3,25	9,14	14,35
MOB	3,41	9,10	11,21

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 (Charles et al., 2009).

Compuestos fenólicos totales y actividad antirradicalaria

En la tabla 3.6 se muestra el contenido fenólico total y actividad antirradicalaria a los 0 días en distintas muestras expresado como ácido gálico (GAE)/100 g muestra fresca. Si bien no se detectaron diferencias significativas las muestras tratadas con irradiación UV y microondas fueron las que tuvieron el mayor contenido de polifenoles totales, y las muestras tratadas con luz blanca de modo continuo y pulsado las que tuvieron menor contenido de compuestos fenólicos totales.

Tabla 3.6. Valores del Contenido de compuestos fenólicos totales y actividad antirradicalaria a los 0 días de la muestra Testigo (sin radiación), con radiación de luz blanca continua (LBC), luz blanca pulsada (LBP), UV 254 Pulsado con movimiento (UVP), UV 254 Pulsado sin movimiento (UVP) y radiación Microondas (MOB).

Extractos	DPPH decoloración			Fenoles Totales [mEAG/100 g muestra fresca]
	100	50	10	
Etanólicos Jugo	100	50	10	
Fruto completo	[µg/ml]	[µg/ml]	[µg/ml]	
Testigo	84±2	52±1	9±1	390±20 a
LBC	82±1	49±1	8,8±0,8	380±10 a
LBP	84,1±0,9	46±1	9±1	390±10 a
UVP	85±1	48,9±0,9	9±1	400±20 a
UVP	85±2	48,2±0,8	9±2	400±20 a
MOB	84±2	48±2	9,2±0,5	400±20 a

Los valores representan las medias y su desviación estándar. Distintas letras indican diferencia estadística ($P < 0,05$). Test (LSD Fisher)

En la tabla 3.7 se muestra el contenido fenólico total y actividad antirradicalaria a los 7 días en distintas muestras expresado como ácido gálico (GAE)/100 g muestra fresca. Siguiendo la tendencia a los 0 días la muestra tratada con irradiación UV y microondas fueron las que presentaron el mayor contenido de polifenoles totales, y las muestras tratadas con luz blanca de modo continuo y pulsado las que tuvieron menor contenido de compuestos fenólicos totales.

Observándose que la actividad antioxidante de los extractos a los 0 y 7 días dio un decrecimiento en función del tiempo y la temperatura (ambiente) con el mismo patrón que el de los compuestos fenólicos, por lo que se puede atribuir la actividad antioxidante de estos extractos principalmente a los compuestos fenólicos presentes en ellos.

Tabla 3.7. Valores del Contenido total de polifenoles y actividad antirradicalaria a los 7 días de almacenamiento de la muestra Testigo (sin radiación), con radiación de luz blanca continua (LBC), luz blanca pulsada (LBP), UV 254 Pulsado con movimiento (UVPM), UV 254 Pulsado sin movimiento (UVP) y radiación Microondas (MOB).

Extractos	DPPH decoloración			Fenoles Totales [mEAG/100 g muestra fresca]
	100 [µg/ml]	50 [µg/ml]	10 [µg/ml]	
Etanólicos Jugo	100	50	10	
Fruto completo				
Testigo	82±4	47±1	7±2	350±10 ab
LBC	79±4	44±6	6±2	340±20 b
LBP	80±2	46±3	8±1	340±20 ab
UVP	80±2	45±3	7±2	350±20 ab
UVPM	81±3	45±4	7±2	360±10 a
MOB	80±4	45±4	7±2	370±20 a

Los valores representan las medias y su desviación estándar. Distintas letras indican diferencia estadística ($P < 0,05$). Test (LSD Fisher).

La actividad radicalaria presenta diferencias entre los frutos tratados y el testigo. Los captadores de radicales libres más activos medidos por el ensayo de decoloración DPPH fueron los extractos de los frutos tratados con irradiación UV tanto a los 0 como a los 7 días

El contenido de compuestos fenólicos totales de los frutos irradiados disminuyó respecto al testigo en el periodo estudiado de 7 días; y se observa una mayor diferencia en aquellas muestras tratadas con irradiación UV y microondas, aunque no de manera significativa.

Los resultados obtenidos aquí son comparables con los de literatura (Perkins, 2008), respecto de que la radiación UV-C puede mejorarlos niveles de antioxidantes.

Es relevante notar que la variación de los valores mostrados en las tablas 6 y 7, se debe a condiciones de almacenamiento, dado que la misma afecta significativamente el contenido de sustancias bioactivas. Las pérdidas en fenoles totales, antocianinas y capacidad antioxidante son menores comparadas con los valores iniciales cuando se almacenan a bajas temperaturas en el caso de arándanos (Srivastava et al., 2007).

Cabe señalar que no existen estudios sistemáticos disponibles que proporcionen información sobre la transformación que sufren los compuestos fenólicos durante el almacenamiento y la forma en que afecta a su actividad biológica (Srivastava et al., 2007). Generalmente el contenido fenólico puede incrementarse o decrecer en frutas y vegetales dependiendo de las condiciones de almacenamiento (Dolatabadi et al., 2015). Así mismo, las bajas temperaturas de almacenamiento contribuyen a la estabilidad de la capacidad antioxidante y de antocianinas frente a otras condiciones de mayor temperatura tanto en el procesamiento como en el almacenamiento en las cuales decrece (Sui et al., 2016).

Uno de los mecanismos por los que se pueden deteriorar los compuestos fenólicos, como las antocianinas, se debe a que incrementos de temperatura resultan en pérdida del azúcar glicosilante en la posición 3 de la molécula y apertura de anillo con la consecuente producción de chalconas incoloras (Timberlake, 1980). Es fundamental considerar esto último a la hora de diseñar procesos de conservación térmica en sustratos que contengan compuestos fenólicos totales (CFT) que se quieran proteger, como es el caso de procesamiento de frutas y verduras, porque a mayor temperatura mayor tendencia a degradarse los CFT, pero el efecto de sólidos solubles no es igual en todos los sustratos. (Sepulveda, 2019).

Finalmente, las muestras testigos y tratadas a los 0 y 7 días presentan contenidos de compuestos fenólicos similares a los detallados en bibliografía para arándanos cultivados de distinta procedencia. (Vásquez, 2012; Barreto, 2016).

Los datos publicados por la USDA Nutrient Data base (2004) para las variedades de mayor consumo en Estados Unidos muestran valores medios de 292,97 mg fenoles/100 g arándano fresco, siendo los valores mínimo y máximo de 158,03 mg fenoles/100 g arándano fresco y 459,05 mg fenoles/100 g arándano fresco respectivamente.

3.3.3 Análisis estadístico

Los resultados obtenidos se analizaron estadísticamente mediante el software InfoStat mediante análisis de varianza (ANOVA). La comparación de medias se realizó mediante el Test de Mínima Diferencia de Fisher (LSD) con un nivel de confianza del 95 %.

3.3.4 Conclusión

Mediante los espectros UV-Vis se obtuvo que los extractos del arándano presentan pigmentos antociánicos no mostrando una diferencia considerable con el tratamiento propuesto a tiempo cero, pero si se observó que el contenido permanece casi invariable durante 7 días en el fruto tratado.

Se mantuvo la tendencia de la pérdida de peso entre la muestra control y tratada a lo largo del tiempo, mostrando las muestra tratadas con irradiación UV y microondas de baja intensidad una leve disminución de la pérdida de peso.

Las frutas irradiadas con UV y microondas tuvieron un mayor contenido fenólico en comparación con la fruta no irradiada a los 0 y 7 días. En general, el contenido de fenoles totales y la capacidad antioxidante en función del tiempo mostraron variaciones.

De los resultados obtenidos se puede concluir que el tratamiento UV se presenta como una alternativa prometedora ya que mantiene la calidad organoléptica de

las muestras de arándanos estudiados, teniendo en cuenta que es amigable con el medioambiente dado que no deja residuos, no utiliza químicos, es sencilla y colabora con el ahorro energético, además que la radiación UV-C es muy efectiva en la inactivación de muchos tipos de microorganismos tales como bacterias, virus, protozoos, hongos, levaduras y algas.

La investigación en tecnologías no térmicas se ha venido desarrollando en función de la demanda del consumidor por productos mínimamente procesados de alta calidad, prácticos y seguros. Los procesos no térmicos permiten extender la vida útil de los alimentos vegetales, prescindiendo del uso de aditivos y conservantes artificiales.

De esta manera se logra preservar el sabor, color, textura y las propiedades nutritivas y funcionales de los productos vegetales. La mayoría de estas tecnologías no son eficientes por si solas, y por lo general es recomendado su uso en combinación con métodos tradicionales y/o con otras técnicas emergentes (métodos combinados). A medida que la investigación avanza, las tecnologías de este tipo ganan terreno en la industria alimentaria, mostrando un gran potencial para la conservación de productos vegetales con una alta calidad nutricional y organoléptica.

Todas las frutas tratadas con radiación presentaron un aspecto turgente y de colores muy brillantes al cabo de una semana y con escasa o nula presencia de hongos. Se concluyó que los procesos de radiado con radiación electromagnética en la región de microondas no son apropiados como método de conservación de fruto arándano ya que a pesar de que la población de hongos disminuye sensiblemente, hay una variación significativa de la composición de polifenoles presentes.

Las aplicaciones de radiación UV continua producen cambios apreciables en la cantidad de antocianinas con valores próximos a los de la fruta sin tratamiento y

el proceso de irradiación con UV pulsada de 254 nm se presenta como promisorio para conservar fruta.



CAPITULO 4:
**Efecto de la radiación
ultravioleta “UV” en la
conservación poscosecha
de arándanos**

4.1 Radiación UV en alimentos

Desde hace tiempo se ha probado la radiación UV-C como tratamiento poscosecha para reducir la carga inicial de microorganismos en las superficies de frutas y vegetales, la senescencia (ablandamiento, cambio de color, etc.) y otros efectos benéficos, así como retrasar el proceso de maduración para prolongar la vida útil e inducir la producción de compuestos bioactivos (polifenoles, antocianinas) en las frutas (Vicente et al., 2005; Milla Villarroel et al., 2015; Li et al., 2016; Andrade-Cuvi, 2017; Suzuki, 2015).

La radiación UV-C presenta un efecto germicida inherente, variando la dosis óptima con el tipo de fruta. De esta manera se promueve la resistencia a enfermedades contra una amplia gama de patógenos (Usall, 2016; Pombo, 2011).

Según Koutchma et al. (2009), la forma de propagación (absorción, reflexión, dispersión o refracción) de la UV-C es importante para comprender el efecto sobre las muestras irradiadas, entendiendo que la efectividad del tratamiento depende en gran parte de la transividad de la luz hacia las células del organismo.

Es relevante la preferencia del consumidor ganada a favor de las frutas tratadas con ultravioleta entre los otros tratamientos poscosecha, porque brinda una mejor oportunidad para que la aplicación de la tecnología ultravioleta crezca en la industria de productos frescos (Aroza y Ruplal, 2018).

Algunas investigaciones muestran que la dosis de irradiación UV-C de 14 kJ/m² permite obtener las mayores características antioxidantes y el menor recuento microbiano en las frutas tropicales, mango, piña y mamey, mínimamente procesadas (Márquez y Pretell, 2013). Además, la exposición poscosecha de diferentes cultivos a bajas dosis de irradiación muestran una mejora en el almacenamiento (Alothman et al., 2009). También se ha reportado que la

exposición a dosis bajas de UV-C retrasa la maduración y la senescencia de las manzanas, tomates, naranjas, las uvas de mesa, el mango y melocotones (González Aguilar et al., 2007; Milan Villarroel, 2015).

La influencia de las características de la superficie de la fruta en la eficiencia de la inactivación de los microorganismos respondió de diferentes maneras a la radiación UV-C. Se observó que la inactivación microbiana fue menor para frutos con superficies más rugosas (fresa, melón y frambuesa) en comparación con frutas menos hidrofóbicas con superficies más lisas (pera y manzana). (Adhikari, 2015).

La Tabla 4.1 muestra una amplia variedad de frutas y verduras que fueron sometidas a radiación UV-C para inactivar microorganismos y análisis de los efectos sobre los parámetros de calidad. Es evidente que el aumento de las aplicaciones podría resultar en una mayor reducción microbiana. (Esua, 2020)

Tabla 4.1. Variedad de frutas y verduras que fueron sometidas a radiación UV-C.

Fruta/Verdura	Parametros UVC	HALLAZGOS PRINCIPALES	
		Atribuciones de mejora de calidad	Reducción logaritmica microbiana e incidencia de enfermedades
Manzana	7,5 kJ/m ² + abland. 1 kJ/m ²	color retenido	L. innocua, E. coli, S.c. :1-1,19 E. coli:1,89, L. innocua, S. enterica:1,5
	0,92-5 kJ/m ² , 60-300s	color retenido y propiedades fisicoquimica	E. coli: 29, L. monocytogenes: 1,6
Damasco	0,74 kJ/m ² , 10 s	-	E. coli: 1,2, Salmonella spp.: 1,5
	1,0-2,54 kJ/ m ² 7,75 kJ/m ²		E. coli O157: H7: 0,5-1,8 levadura y moho: 2,38,
Zanahoria	0,78 kJ/m ²	aumento de compuestos biactivos e índice de blancura; reducción de la actividad enzimática y tasa de O ₂ /CO ₂	Mesofilo aerobico: 1,7
	57,6 kJ/m ² , 3600 s	aumento de la reacción enzimática y del índice de blancura	
Uva	6 kJ/m ² , + 0,5% quitosano	aumento de resveratrol, reducción de la respiración, pérdida de peso	Botrytis cinerea: inhibición del crecimiento

Fuente: Esua, 2020.

4.2 Radiación UV en arándanos

Una amplia gama de investigaciones muestra un uso prometedor de la irradiación ultravioleta en los arándanos con una inhibición significativa de bacterias y hongos patógenos, y de descomposición en los productos frescos (Arosha, 2018).

La vida útil del arándano alto (*Vaccinium corymbosum* L.) puede reducirse por la pérdida de peso, la pérdida de jugo (lesión de la cicatriz del tallo), el incremento de moho gris (*Botrytis cinerea* Pers.: Fr.) y/o podredumbre madura (*Colletotrichum acutatum* Simmonds, synC. *gloeosporioides* Penz.). Para mejorar, los arándanos, (*Vaccinium corymbosum*, cvs. Collins, Bluecrop) fueron expuestos a tratamientos de radiación ultravioleta-C (UV-C) de 0 a 4 kJ / m² antes de 7 días de almacenamiento a 5 °C más 2 días a 20 °C, 90 % de HR. La pérdida de peso y la firmeza no se vieron afectadas por el tratamiento con UV. La incidencia de decrecimiento de la pudrición madura en la fruta se redujo en un 10% con tratamientos de UV-C de 1-4 kJ / m². Los antioxidantes medidos por antocianina total, fenoles totales y poder antioxidante reductor férrico (FRAP) fueron más elevados.

La aplicación de radiación UV-C puede disminuir la descomposición causada por la pudrición madura en los arándanos y puede mejorar los niveles de antioxidantes (Perkins, 2008).

También se inoculó una mezcla de 5 cepas de *E. coli* O157: H7 en el cáliz y la piel de los arándanos y luego se los sometió a distintos tratamientos como pulverización de agua electrostática, ozono y UV, se observó que la luz ultravioleta a 20 mW / cm² durante 10 min fue la tecnología más prometedora y logró 2,14 y más de 4,05 reducciones logarítmicas de *E. coli* O157: H7 en el cáliz y la piel de los arándanos, respectivamente (Kim, 2012).

Otros autores evaluaron la eficiencia de la aplicación de diferentes dosis de radiación ultravioleta de onda corta, como tecnologías de conservación de procesamiento mínimo, en frutos de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.),

observando una reducción en el crecimiento de la microbiota nativa y de *Botrytis cinerea*. En general no se observaron mayores modificaciones en las propiedades mecánicas en el almacenamiento y se encontraron cambios en el color en relación al control. Las alteraciones estructurales por efecto de luz UV-C fueron menores. La irradiación UV-C no indujo cambios significativos en los compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante respecto del control (Jaramillo, 2019).

Respuestas obtenidas en los frutos tratados con radiación UV-C

La respuesta se debe principalmente a dos mecanismos de acción: El daño fotoquímico y el efecto conocido como hormesis.

4.3 Daño fotoquímico

Según Domínguez L. (2011), reportando lo expuesto por Snowball y Hornsey, (1988) y Sastry et al., (2000) el mecanismo de acción letal depende de la absorción por el ADN, pudiendo detener el crecimiento celular y provocando la muerte.

La radiación absorbida por los nucleótidos produce cambios físicos de electrones, formando uniones cruzadas entre tiamina y citocina, (nucleótidos de bases pirimidínicas) pertenecientes a la misma cadena, lo que provoca la formación de dímeros ciclobutil pirimidina. Esto produce distorsiones en la forma del ADN interfiriendo en el apareamiento normal de las bases. Como resultado se bloquea la síntesis de ADN y consecuentemente quedan afectadas las funciones celulares pudiendo provocar la muerte. Los efectos en los enlaces cruzados son proporcionales al tiempo de exposición e intensidad de la irradiación UV. Sin embargo, es posible que ocurra una reactivación, según Koutchma (2009), el daño no impide que las células de los microorganismos se mantengan metabolizando, por lo que se es posible que se autoreparen mediante fotoreactivación, excisión, recombinación o errores incurridos durante la aplicación del método.

El ADN puede ser reparado por factores proteínicos (Yajima et al., 1995) cuando las células dañadas se exponen a longitudes de onda superiores a 330 nm (Liltved

y Landfald, 2000). Se puede estimular la separación del ácido nucleico debido a la activación de la enzima fotoliasa que monomeriza los dímeros (separación de tiaminas y otras pirimidinas) formados después del proceso de radiación (Stevens et al., 1998). Vale aclarar que un ambiente oscuro puede evitar la fotoreactivación de productos tratados con radiación UV o restaurar las células expuestas. Estas células foto reactivadas pueden ser más resistentes a la radiación UV cuando se aplica un segundo tratamiento de UV (Sastry et al., 2000).

Hui y Nip (2003), indicaron que es necesario tomar en cuenta la transividad del producto, configuración geométrica,, la potencia aplicada, la longitud de onda, la disposición espacial de la fuente de luz, perfil del producto a aplicar, entre otros aspectos a considerar.

Otro aspecto importante a tomar en consideración en este apartado, según comentan Adam y Moss (2008), es la capacidad de reparación según el microorganismo en cuestión.

En la figura 4.1 se muestra la estructura del Ácido Desoxirribonucleico (ADN), material genético de todos los organismos celulares y casi todos los virus.

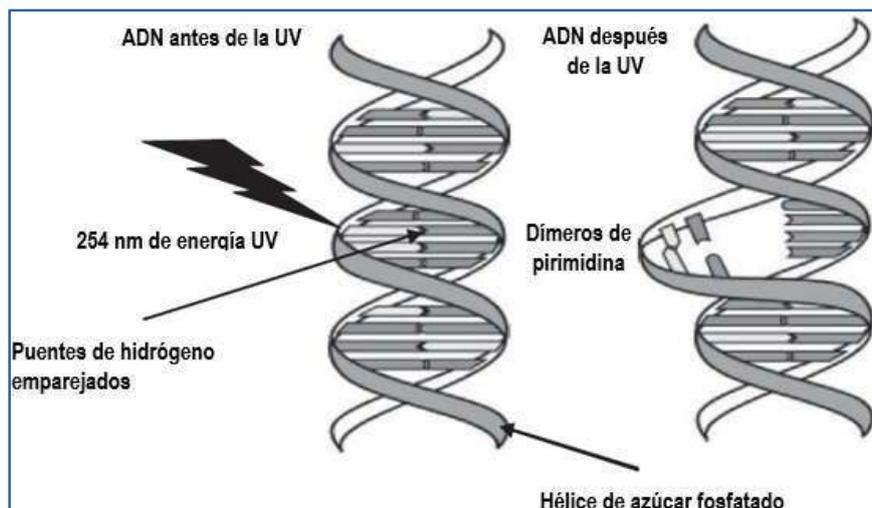


Figura 4. 1. Estructura de ADN antes y después de ser irradiada con UV-C.

Fuente: Koucthma (2009)

4.4 Homersis

La irradiación con dosis bajas (0,25-8,0 kJ/m²) pueden inducir reacciones beneficiosas en la planta, conocido como hormesis, siendo una mejora del "mecanismo de defensa natural" y haciendo posible el control de la descomposición y el retraso de la maduración poscosecha de la fruta durante el almacenamiento.

Calabrese (2010) define hormesis como el gran rango de respuestas mediante procesos biológicos ante el estrés provocado por agentes químicos y físicos.

Sethi (2018) expone que la hormesis inducida por agentes físicos, como la radiación ultravioleta, provoca cambios bioquímicos que dan como resultado una respuesta protectora del tejido expuesto contra la luz ultravioleta. Las posibles respuestas a la hormesis son aumento/disminución de la tasa de respiración, germinación, crecimiento, maduración, aumento de la resistencia a las enfermedades, etc. Hay evidencias que muestran que la hormesis evoca un aumento del vigor de las células (Goraczko, 1996).

La resistencia contra las enfermedades es el principal mecanismo para prolongar la vida útil de los productos hortícolas inducida por la radiación ultravioleta. Dado que la respuesta no es específica, los tejidos en su conjunto obtienen protección contra otros efectos perjudiciales causados por medios físicos o microbianos. A diferencia del efecto directo de los rayos ultravioleta, donde se dirige el ADN microbiano, los compuestos antifúngicos sintetizados producidos como respuesta secundaria permanecen en el tejido incluso después de la exposición a los rayos ultravioleta y se distribuyen por toda la matriz (Shama y Alderson, 2005). Debido a este fenómeno, se reduce el deterioro poscosecha durante el almacenamiento de hortalizas. La producción de compuestos antifúngicos y la reducción de la tasa de maduración son los dos principales beneficios de la hormesis inducida por rayos UV.

Después de algunas investigaciones es importante inferir sobre diferencia entre la aplicación de UV-C convencional, y la aplicación de UV-C hormética. La

aplicación convencional, es dirigida únicamente a los microorganismos ubicados sobre la superficie, pues el objetivo es la desinfección del producto y no se buscan efectos paralelos, mientras que la aplicación hormética busca generar una respuesta antimicrobiana que se exprese en los tejidos de los productos aplicados; a la vez, ambos tratamientos utilizan la misma longitud de onda, sin embargo, la hormética requiere únicamente de dosis bajas (10-900 mJ/cm²) (Koutchma et al., 2009).

Algunos ejemplos de los efectos antimicrobianos y hormesis del tratamiento de radiación UV en los productos frescos se enumeran en la tabla 4.2:

Tabla 4.2. Efectos antimicrobianos y hormesis del tratamiento de radiación UV en los productos frescos. Fuente: Ribeiro, 2012

Productos frescos	Efectos de radiación – UV
Tomate	UV-C mejora el valor nutricional y aumentar el nivel de licopeno sin modificar las propiedades físicas durante el almacenamiento. A bajas concentraciones (aprox. 4 kJ/m ²), la radiación UV-C puede inducir la expresión de un número de genes de defensa, y suprimir la expresión de genes implicados en la pared celular de desmontaje, metabolismo lipídico y la fotosíntesis. Los genes de defensa retrasan el ablandamiento de tejidos, conservar los atributos nutricionales y sensoriales, por lo que permiten ampliar la vida útil de los frutos.
Espinaca	Radiación UV-C aplicada en dosis adecuadas y a ambos lados de la espinaca podría reducir el crecimiento microbiano y ampliar el tiempo de vida sin comprometer la calidad. En dosis de 2,4 a 24 kJ/m ² puede limitar el crecimiento de <i>Listeria</i>

	<p>monocytogenes, Salmonela entérica, Marginalis Pseudomonas, y Enterobacteria psicótrofos. Sin embargo, UV-C aplicada a dosis bajas es eficaz en la reducción microbiana inicial al comienzo del almacenamiento, por esta razón, la espinaca recién cortada tiene una vida útil que varía de 4 a 5 días a 5°C.</p>
Brócoli	<p>Floret amarillamiento es un grave problema que limita la vida útil y la calidad. Radicación UV-C aplicada a dosis 4 a 14 kJ/m² puede retardar la degradación de la clorofila y aumentar la actividad antioxidante en el vegetal.</p>
Pimiento	<p>Luz UV-C puede reducir la incidencia y gravedad de lesiones por refrigeración durante el almacenamiento a bajas temperaturas. Aplicada a dosis de 7 kJ/m² puede retardar los síntomas debido a daño por frío y mantener la firmeza del tejido.</p>
Fresa	<p>Radiación UV-C aplicada en dosis 0,43 a 4,30 kJ/m² puede retrasar el reblandecimiento del tejido que actúa en antioxidantes y actividad enzimática. Un tratamiento a dosis de hormesis induce la expresión de los genes de defensa, que detienen la degradación de la pared celular que controla el ablandamiento o defiende la fruta contra las infecciones, tales como el moho gris causada por Botrytis cinerea.</p>
Arándano	<p>Radiación UV-C puede reducir el deterioro causado por la pudrición de frutos maduros (<i>Colletotrichum acutatum</i>) y aumentar el nivel de antioxidantes compuestos, tales como el total de antocianinas y polifenoles totales. Las dosis óptimas de UV-C mejoran las propiedades fitoquímicas que van desde 2,15 hasta 4,30 kJ/m².</p>

Manzana

Radiación UV-C aplicada a la dosis de 1,2 kJ/m² puede desinfectar la superficie, detener las enzimas oxidativas, prevenir oscurecimiento del tejido y desarrollar malos olores. Además, la luz UV crea una película seca protectora que inhibe el crecimiento microbiano y las fugas de jugo, esta película no es percibida por los consumidores.

Según Ribeiro (2012) los autores concluyeron que la eficacia de la radiación UV en la prolongación de la vida útil de productos frescos depende de la producción (especies y variedades, frutas y verduras intactas o mínimamente procesadas), la contaminación microbiana inicial, el sistema de aplicación de la luz UV (duración y dosis del tratamiento) y la superficie expuesta a la irradiación.

4.5 Características de la radiación UV-C

Eficacia

La eficacia germicida más alta se muestra en longitudes de onda entre 255 y 265 nm que se encuentran dentro del rango de la región UV-C, aquí los microorganismos se desactivan como resultado del daño a los ácidos nucleídos. El ADN y el ARN celular absorben la gran cantidad de rayos UV de 250-260 nm que corresponde a la rotura de enlaces de hidrógeno, lo que proporciona evidencia de la máxima efectividad germicida en UV-C (principalmente a 254 nm).

Aplicación en seco

Muchos productores reutilizan el agua de lavado para desinfectar frutas y verduras. Sin embargo, esta va incrementando su materia orgánica a medida que se va incorporando el producto.

Para mantener la calidad del agua es necesario añadir productos con capacidad desinfectante. Cuanta más materia orgánica en el agua, más cantidad de químicos. Esto genera residuos y debilita la fruta.

UV-C no requiere agua ni químicos para eliminar el 99 % de los patógenos que están en la fruta, por lo tanto, es perfecto para el tratamiento de frutos como los arándanos.

Efecto en cadena

La propagación de virus y bacterias se produce por contacto. Un fruto infectado es capaz de propagar hongos, bacterias y virus como *Erwinia*, *Pseudomonas*, *Fusarium*, *Botrytis*, Honeydew y oídio (polvo blanco) a un lote completo.

Cuando las bacterias, los virus, hongos y protozoos se exponen a las longitudes de onda germicidas de la luz UV-C, se vuelven incapaces de reproducirse e infectar.

Mejora la cadena de producción

La luz UV-C es utilizada para desinfectar envases, estaciones, equipamiento, cadenas de frío, ductos de aire y todo tipo de superficies, sin generar subproductos cancerígenos y sin operarios expuestos a la radiación. Por lo tanto, la irradiación UV-C puede utilizarse en todas las etapas del procesamiento de alimentos en poscosecha.

Avalado por estudios internacionales

Gran número de estudios demostraron que la irradiación UV-C es exitosa para combatir bacterias, como la listeria y *Botrytis cinerea* en procesamiento de frutas. Se pudo observar además una mejora de hasta 50 % de los frutos, luego de 7 días con tratamiento UV-C en espacios oscuros (Wojciech J. et al., 2015), y una extensión de la vida útil de los frutos (Allende, 2006).

El uso de radiación UV-C de doble cara, en dosis bajas, fue eficaz para reducir los recuentos microbianos iniciales de los tipos de bacterias probados y recuentos psicrotróficos y de enterobacterias, y en el mantenimiento de *L. monocytogenes* en niveles bajos durante el período de almacenamiento, sin afectar la calidad sensorial de las espinacas tiernas recién cortadas. (Escalona, 2010). UV-C y AO (Ozono acuoso) inhibieron eficazmente el crecimiento de *B. cinerea* y prolongaron significativamente la vida útil del arándano (D-Zhou, 2019).

Exportación sin trabas

El Plant Research International - Wageningen, instituto científico que opera globalmente y dirige investigaciones sobre cualquier aspecto relacionado con la agricultura, es uno de los centros de estudios que probó la eficacia del tratamiento de cultivos con UV. Actualmente, la Unión Europea y otros países desarrollados están regulando fuertemente las importaciones de alimentos, dejando fuera a los que contienen residuos de clorato y perclorato derivados del cloro. Por esta razón, la tecnología UV-C va en alza. Además, su uso está aprobado para la desinfección de superficies de alimentos (FDA, 2001).

La Administración de Alimentos y Medicamentos de EE. UU. (2011) aprobó el uso comercial de UV-C (longitud de onda de 253,7 nm) emitida generalmente por lámparas de mercurio de baja presión, para el procesamiento de alimentos y el tratamiento de frutas para reducir los microorganismos de la superficie (FDA, 2011).

Aplicaciones para diversas industrias

La irradiación UV-C es efectiva en el procesamiento de paltas, pimientos, pepinos, tomates, limones y una amplia variedad de productos agrícolas.

4.6 Desventajas del tratamiento UV-C

Aunque la aplicación de UV en productos frescos tiene varias ventajas, como se discutió anteriormente en el capítulo, también viene acompañada de algunas desventajas, como se detalla a continuación.

- Bajo poder de penetración: sólo las superficies sólidas y las películas delgadas de líquidos pueden pasteurizarse / esterilizarse eficazmente mediante radiación UV debido a su bajo poder de penetración. La eficacia en el caso de los líquidos también depende de la claridad y las características de flujo, tales como newtoniano / no newtoniano y laminar / turbulento.
- Dependencia de las características de la superficie: la eficacia de los rayos UV depende de las características de la superficie o de la "topografía" de los alimentos, como las crestas o las grietas. Las aberraciones en las superficies de los alimentos pueden proteger a los organismos de la luz ultravioleta incidente, lo que limita la eficiencia del proceso.
- Blindaje por sólidos como papel, vidrio o películas: los materiales de etiquetado o pegatinas en frutas y verduras enteras como manzanas, mangos, etc., pueden ocultar los microorganismos detrás de ellos evitando así su exposición a la luz ultravioleta incidente y disminuyendo la eficiencia de UV.
- Riesgo ocupacional: la luz ultravioleta puede dañar permanentemente los ojos humanos y la exposición prolongada puede provocar cáncer de piel en humanos. Por lo tanto, se requiere personal capacitado para el manejo del sistema, lo que a su vez puede conducir a un aumento en el costo del tratamiento UV para las industrias.
- El efecto de la hormesis en los alimentos sólidos no está bien estudiado: la hormesis puede dar como resultado diferentes sustratos en diferentes dosis y conducir al desarrollo de diferentes sistemas de autodefensa. La variación en los alimentos sólidos es aún mayor cuando solo se ven afectadas las superficies (cáscaras, cutículas, flores, etc.). Por tanto, se deberían realizar estudios más

detallados sobre los efectos de la hormesis en los alimentos sólidos antes de poder llegar a una conclusión válida.

- Aún no se ha establecido el efecto de los rayos ultravioleta sobre la población de levaduras: se ha estudiado el efecto de los rayos ultravioleta sobre los hongos, pero se ha prestado más atención a los mohos que a las levaduras. Las acciones específicas de los rayos UV contra las levaduras aún no se han establecido de manera concluyente.
- Dado que la luz ultravioleta pulsada es más cara que la luz ultravioleta de onda continua, el bajo costo inicial de la luz ultravioleta de onda continua, así como la falta de un amplio equipo de seguridad, es beneficioso para quienes tienen poco capital para invertir.
- Si se aplica a una dosis superior a la optimizada/estandarizada para el producto en particular, los fotones UV pueden dar lugar a cambios inaceptables (Sethi, 2018).

4.7 Factores críticos a considerar en la eficiencia de la radiación UV-C

Estudios anteriores son útiles para indicar que la radiación UV-C puede ser empleada tanto en alimentos sin procesar como en alimentos ya procesados listos para el consumo. De la mayoría de las investigaciones consultadas, se puede concluir que los parámetros más importantes en el procesamiento de alimentos sólidos con radiación UV-C son: la morfología del alimento, la distribución de la radiación, la distancia de la fuente de radiación al alimento y la dosis a la que es sometido. Otros factores como la presión, temperatura y composición del alimento, no tienen un efecto importante en la calidad final del alimento y en el diseño de equipos (Koutchma, 2014).

La eficiencia de esta tecnología dependerá de muchos factores afectando la acción antimicrobiana y conservante de este método.

La transmisividad del producto, la configuración geométrica del reactor, la potencia, la longitud de onda y la disposición física de la (s) fuente (s) UV, el

perfil de flujo del producto y la longitud de la trayectoria de radiación. Además se deberá tener en cuenta la dosis de destrucción microbiana, tiempo de acción, distancia entre el producto y la lámpara de luz ultravioleta. Si el material es muy transparente a la luz ultravioleta, la desinfección puede ser más efectiva; sin embargo, los materiales turbios atenuarían y dispersarían la radiación ultravioleta, dando como resultado una menor inactivación microbiana. El grosor de la trayectoria de la radiación a través de los materiales también es importante, ya que la atenuación aumenta con la longitud del paso; por lo tanto, la configuración geométrica de los sistemas de proceso es crítica. Otro factor crítico a considerar es la longitud de onda de UV utilizada, ya que esto afectará la inactivación microbiana (Sastry, 2000).

Sin embargo, la aplicación de luz UV-C está limitada en algunos alimentos, debido a que la absorción de la radiación es proporcional al contenido de azúcares, sales, partículas suspendidas, color, tipo y concentración de la carga microbiana en el alimento. La principal desventaja que presenta es el bajo poder de penetración; por lo tanto no es eficaz en superficies rugosas o porosas y además en algunos casos los microorganismos pueden revertir los efectos destructivos de la luz UV-C mediante mecanismos de fotoreactivación (Gómez, 2010; Arosha y Ruplal, 2018).

Los rayos UV se pueden usar en combinación con otras tecnologías de procesamiento alternativas, incluidos varios agentes oxidantes potentes como el ozono y el peróxido de hidrógeno, entre otros.

Dosis de destrucción microbiana

La inactivación del número de microorganismos depende principalmente de la dosis, pudiéndose compensar un menor tiempo de exposición con una mayor intensidad de irradiación. La dosis necesaria para conseguir inactivaciones del 99, 99,9 y 99,99 % son, respectivamente: 2, 3 y 4 veces la dosis (D10) para un 90 % de inactivación o un 10 % de supervivencia (Osorio Robles et al., 2010). Cada

microorganismo tiene una dosis letal. Algunas bacterias, virus y mohos requieren niveles relativamente bajos de luz UV para ser destruidos. Cuando hay organismos como las esporas de los mohos, la dosis debe ser respectivamente mayor que la necesaria para bacterias (Del Campo-Sacre, 2009). Un punto muy importante que se debe tomar en cuenta es la aplicación de la dosis apropiada para asegurar la inocuidad del alimento y evitar la posibilidad de deterioro por fotorreactivación de las células (Del Campo-Sacre, 2009).

Uniformidad de la dosis

La uniformidad de la dosis para un efecto máximo de la radiación UV-C es de gran importancia.

Se demostró que es posible reducir grandes variaciones y maximizar la dosis de radiación de los rayos UV-C en superficies de frutas donde las lámparas UV-C en cintas transportadoras se colocaron a una distancia de 14 cm para transportar y rotar frutas entre dos cámaras de tratamiento, con lo que aseguraron la uniformidad de la dosis de tal manera que las frutas recibieron una dosis promedio de 1 kJ/m², en comparación con 0,2 kJ/m² recibidos por frutos sin rotación. El dispositivo de rotación modificó reducciones de 1,0 a 1,2 log UFC/fruto en *Escherichia coli* O157: H7 (*E. coli* O157: H7) y *E. coli* ATCC 25922, respectivamente, en comparación con 0,5-0,7 log UFC/reducción de fruta obtenida sin el dispositivo de rotación (Yan et.al., 2014).

Tiempo de acción

El tiempo de exposición es vital para asegurar un buen desempeño, siendo difícil determinar con exactitud el tiempo de contacto (depende del tipo de flujo y de las características del equipo), pero el período debería estar relacionado con la dosificación necesaria. Entonces, cuanto mayor es el tiempo de exposición a una determinada dosis, tanto más eficaz es el tratamiento.

El tiempo de exposición a la luz ultravioleta dependerá no solo de la dosis que se

desea alcanzar, puesto que a mayores tiempos de exposición (dependiendo de la intensidad), mayor dosis, sino de la capacidad del fruto para resistir este tratamiento. Se debe tener en cuenta el tipo de tejido vegetal expuesto (si posee una cutícula gruesa, cera protectora, superficie lisa o rugosa, entre otras).

Distancia entre el producto y la lámpara de luz ultravioleta

Es importante destacar que al utilizar UV-C como desinfectante, el equipo debe estar localizado lo más cerca posible al producto en el sistema de proceso. Debido a que la intensidad es inversamente proporcional a la distancia (Suárez, 2001).

Longitud de onda utilizada

La radiación ultravioleta en el rango de 250-260 nm es letal para la mayoría de los microorganismos, incluidas bacterias, virus, protozoos, hongos miceliales, levaduras y algas (Bintsis, 2000). La irradiación UV-C posee el mayor efecto germicida, específicamente entre 250 y 270 nm, y la máxima eficiencia para la desinfección se sitúa específicamente a 254 nm (Milán Villarroel, 2015).

Curva de inactivación microbiana

La curva de efectividad germicida en función de la longitud de onda puede verse en la figura 4.2.

La curva de inactivación microbiana con un máximo a 254 nm y un ancho a media altura de aproximadamente 60 nm, con una caída prácticamente a cero a 320 nm; siendo la eficacia a 320 nm el 0,4 % del pico valor.

Una vez que el ADN ha sido dañado, los microorganismos ya no pueden reproducirse y el riesgo de la enfermedad que surge de ellos se elimina (Bintsis, 2000).

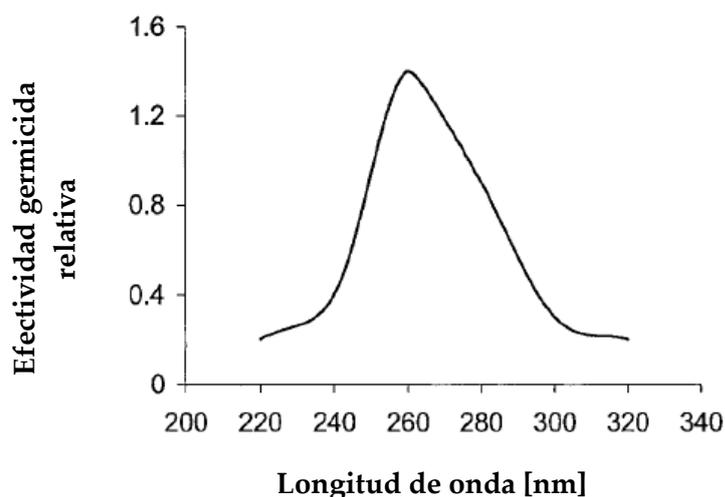


Figura 4.2. Efectividad Germicida en función de la longitud de onda ultravioleta.

Fuente: Bintsis, 2000.

La meseta inicial se debe a una fase de lesión del microorganismo en respuesta a la exposición a los rayos UV.

Luego, se ha superado la cantidad máxima de lesiones; por lo tanto, una mínima exposición adicional a los rayos ultravioleta sería letal para los microorganismos y el número de supervivientes se reduciría rápidamente.

El final de la curva tiene una fase de cola debido a la resistencia a los rayos UV de los microorganismos y a los componentes experimentales, como los sólidos en suspensión que pueden bloquear.

Composición del fruto

La constitución del objeto o material que es irradiado, influye de forma muy importante en la eficacia del tratamiento (Suárez, 2001). La mayoría de información sugiere que la matriz (composición química y ordenamiento estructural) propia del alimento, juega un papel importante en el daño causado por la irradiación UV-C en el ADN de los microorganismos, ya que dosis similares de UV-C tienen efectos diferentes en el crecimiento de una misma especie microbiana (Rivera-Pastrana et al., 2007). Por ello resulta relevante la evaluación de esta tecnología en cada producto en particular y así poder definir

las condiciones óptimas de aplicación y los posibles cambios en calidad. El agua y almidón no presentan una variación particular en el proceso de descontaminación (Gómez López et al., 2005). La inactivación bacteriana de la luz UV-C, es dependiente de la matriz de la fruta. Las frutas que presentan una superficie plana y lisa están generalmente asociadas a una mayor eficiencia de inactivación bacteriana al ser tratadas con luz UV-C. En cambio, para aquellas frutas con intensa rugosidad en su superficie, como es el caso de la piña, se espera que por el efecto sombra no se logre inactivar ciertas células microbianas, afectando así el efecto germicida. Por otra parte, se supone que la exposición a luz UV promueve la modificación de la estructura celular de la fruta, lo cual conduce a la ruptura de las membranas de las células y favorece la deshidratación progresiva de la muestra. Según el estudio realizado por Manzocco et al. (2011) en frutas como melón, manzana y piña. Por lo que la posibilidad de explotar la irradiación UV-C como tecnología para extender la vida útil de las frutas frescas cortadas dependerá de la disponibilidad de información sólida sobre los límites sutiles que conducen a efectos de conservación de aquellos que imparten un agotamiento de la calidad (Manzocco et al., 2011) Al mismo tiempo, se supone que los tratamientos de estrés abiótico, como la irradiación UV-C, pueden afectar el metabolismo secundario de los productos frescos e incrementar la síntesis de compuestos fitoquímicos con actividad antioxidante. Estudios realizados en el mango fresco cortado han reportado un incremento significativo de la actividad antioxidante (ORAC), que puede correlacionarse con aumentos en los contenidos de fenoles y flavonoides totales. (Milan Villarroel, 2015)

4.8 Fuente de UV-C

La fuente Ultravioleta es básicamente un tubo de cuarzo fundido de sílice, típicamente de 15 mm a 25 mm de diámetro por 100–1200 mm de longitud. El gas inerte con el cual se llena el tubo proporciona la descarga primaria y la acción

necesaria para excitar y vaporizar los depósitos minúsculos de mercurio en su interior.

La lámpara UV de presión baja únicamente es capaz de producir líneas a 185 nm y 254 nm. Un incremento en el suministro de corriente causaría que la lámpara UV se caliente rápidamente y así incrementa la presión de mercurio para producir la salida espectral de presión media mostrada en el figura 4.3.

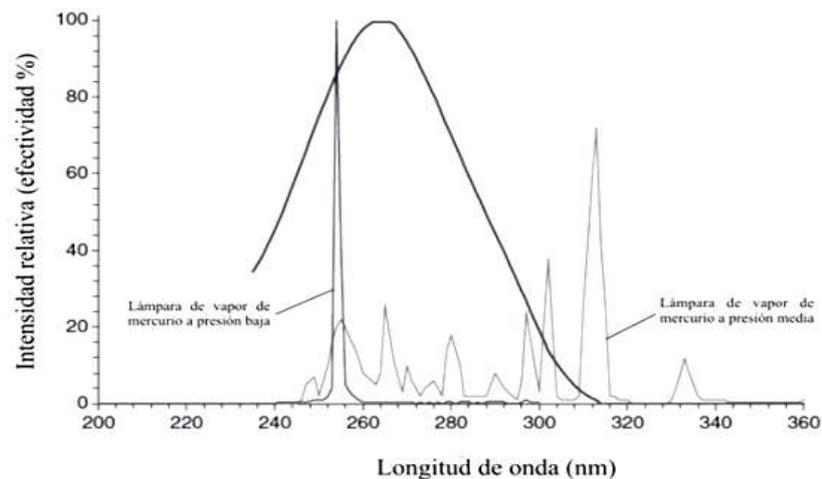


Figura 4.3. Efectividad germicida de longitudes de onda ultravioleta comparando lámparas UV a presión baja y media con la efectividad germicida para *Escherichia coli*.

Fuente: Millán Villarroel (2015).

Se utilizan diferentes métodos para la generación de UV en diferentes longitudes de onda. La radiación ultravioleta puede producirse calentando un cuerpo a una temperatura tal que al estar incandescente emita radiación, o pasando una corriente eléctrica a través de un gas, comúnmente mercurio vaporizado. La corriente eléctrica excita los átomos de mercurio debido a las interacciones con los electrones mientras fluye entre los electrodos. Cuando los átomos excitados vuelven al estado fundamental, se libera un fotón, que comprende principalmente radiación UV, visible.

La luz ultravioleta generada por las lámparas ultravioleta exhibe propiedades germicidas sólo en la región UV-C (Bintsis et al., 2000) y el efecto germicida disminuye al aumentar la longitud de onda (Bachmann, 1975). La inactivación máxima de microorganismos ocurre en el rango de 254 a 264 nm. Dado que las lámparas UV de mercurio de baja presión dan luz monocromática de un máximo de 254 nm, generalmente se considera que la inactivación UV es a 254 nm (Bintsis et al., 2000). Hasta ahora, la mayor parte del tratamiento UV se realiza con lámparas UV de mercurio de baja presión (LP-UV) a 253,7 nm tanto en el ámbito académico como en el industrial. Sin embargo, estas lámparas tienen algunos inconvenientes importantes, como la posibilidad de fugas de mercurio, una vida útil corta y requisitos energéticos importantes (Bowker et al., 2011). Como alternativa a las lámparas de mercurio UV, se ha estado desarrollando la aplicación de diodos emisores de radiación UV-C profundos (DUV-LED). Los LED DUV tienen numerosas ventajas sobre las lámparas de mercurio convencionales. Si bien la longitud de onda de emisión de las lámparas de mercurio de baja presión está fijada en 253,7 nm, la longitud de onda de emisión de los LED DUV se puede ajustar a longitudes de onda individuales en todo el espectro UV. El ajuste para que coincida con la longitud de onda más eficaz para la desinfección en una amplia gama de condiciones ambientales puede mejorar la eficiencia de la inactivación (Bettles et al., 2007). Además, los LED DUV son resistentes a la fractura y a los golpes externos, son de tamaño compacto y tienen una generación de calor reducida.

Por lo expuesto la radiación UV-C representa una alternativa válida sin liberar residuos del producto o cambiar la calidad para el tratamiento poscosecha de arándanos.

4.9 Conservación poscosecha de arándanos con UV-C

Se propone investigar la composición dinámica de las especies de arándanos que se encuentran y los beneficios del método de conservación propuesto. Para ello, se estudió la composición química de los compuestos fenólicos del jugo, cáscara

y la pulpa en función del tiempo mediante técnicas cromatográficas (HPLC), UV-visible y parámetros colorimétricos del fruto antes y después de la aplicación del método.

4.9.1 Materiales y métodos

Se utilizaron arándanos provistos por el empaque Tierra de Arándanos S.R.L., ubicado en la localidad de Orán, Monteros, provincia de Tucumán. Los mismos fueron almacenados a -18°C durante 5 meses.

Los arándanos recibidos se dividieron en 5 muestras, cada una contenía 80 frutos. Una de ellas sirvió de testigo y a las 4 restantes se les aplicó diferentes dosis de radiación, cada muestra fue dividida en 4 lotes:

1. Muestra control, fruta natural completa (FCN) en el tiempo 0 ($t = 0$).
2. Muestra completa de fruta natural conservada a temperatura ambiente, evaluada a los 3 días (FCN3) y 7 días (FCN7).
3. Muestra completa de fruta natural conservada a 4°C , en heladera y evaluada a los 7 días (FCHel).
4. Muestra de fruta entera irradiada con radiación UV pulsada de 254 nm evaluada en el tiempo 0. (FCI0).
5. Muestra de fruta entera irradiada con radiación UV pulsada de 254 nm, conservada a temperatura ambiente y evaluada a los 3 días (FCI3) y 7 días (FCI7).

Preparación de los extractos

Se pesaron 4 g de cada muestra, se maceraron en 15 ml de alcohol etílico absoluto durante dos días y se filtraron.

Se realizaron espectro UV-Vis, color y HPLC en cada extracto. Todas las muestras, tanto controles como irradiadas, se almacenaron a temperatura

ambiente (temperatura promedio 25 °C, 70 % de humedad y presión atmosférica (978 hPa).

Equipo

HPLC-Agilent1200 infinity series. Condiciones Cromatográficas: Columna: C18 (Phenomenex), F. Móvil: Acetonitrilo al 1 %, T (columna): 35 °C, Caudal: 1,3 ml/min, Temperatura de la muestra: 4 ° C, Volumen de inyección: 20 µl.

Para el espectro UV-Vis: Se utilizó un espectrofotómetro HITACHI U-1900.

Para los ensayos de color: Espectrofotómetro Konica Minolta Sensing CM-600d.

Espectrofotometría UV -Vis

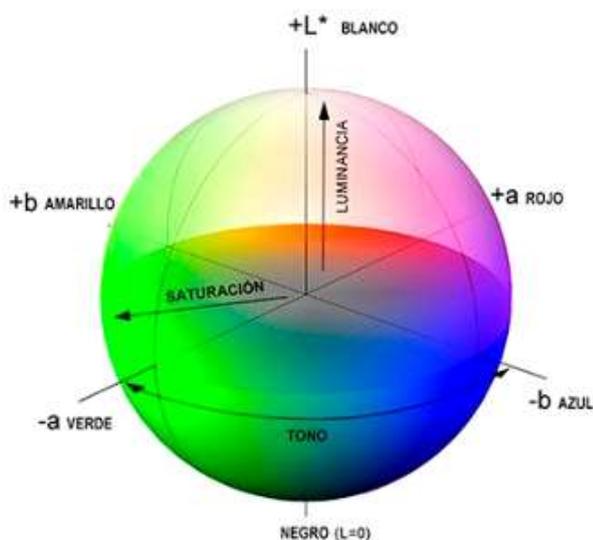
Los espectros se realizaron en el rango de 190 a 1100 nm con un espectrofotómetro HITACHI U-1900, en cubetas de cuarzo de 10 mm de paso óptico, con velocidad de registro de 800 nm/min.

Evaluación de los parámetros colorimétricos

El color es una respuesta mental al estímulo producido en la retina por la radiación de luz visible.

El sistema CIE-L*a*b* es empleado frecuentemente como un método versátil y fiable para evaluar el color de frutas y hortalizas, así como también los cambios ocurridos durante su maduración, procesamiento, almacenamiento, etc. (Bonilla González, 2012).

Los parámetros colorimétricos se evaluaron midiendo el color de los extractos de frutas naturales e irradiadas con un colorímetro Espectrofotómetro Konica Minolta Sensing CM-600d en el espacio de color CIELab, previamente calibrado con una placa estándar blanca. A partir del espectro de reflexión de las muestras se obtuvieron las coordenadas rectangulares CIE L* a* b*, donde L* es la luminosidad (0, negro; 100, blanco), y a* indica la proporción de componente rojo-verde en la medida color, para valores positivos y negativos respectivamente y, de manera similar, b*, para el componente amarillo-azul. Finalmente, a partir de estas coordenadas, se calculó la diferencia de color (ΔE^*_{ab}) entre las muestras tratadas o almacenadas con respecto a las muestras control, utilizando la ecuación



$$\Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (\text{ec. 4.1})$$

4.9.2 Resultados

Las antocianinas tienen máxima absorción tanto en la región visible como en la ultravioleta, lo que es muy importante para la caracterización estructural de estos compuestos. Los espectros de absorción se caracterizan por tener dos bandas separadas una en la región visible entre 465 y 550 nm y otra más pequeña en la UV alrededor de 275 nm (Figura 4.4).

La Tabla 4.3 muestra las longitudes de onda máximas de las especies identificadas.

Tabla 4.3. Longitudes de onda máximas del espectro UV de las especies identificadas

Antocianinas	Espectro visible λ_{max}
Cianidina	506 (naranja-rojo)
Delfinina	508 (azul-rojo)
Peonidina	506 (naranja-rojo)
Petunidina	508 (azul-rojo)
Malvidina	510 (azul-rojo)

La Figura 4.4 muestra los espectros UV-Vis obtenidos de los extractos del fruto arándano completo irradiado (FCI) y sin irradiación UV (FCN) en diferentes tiempos de almacenamiento (0 días, 3 días y 7 días).

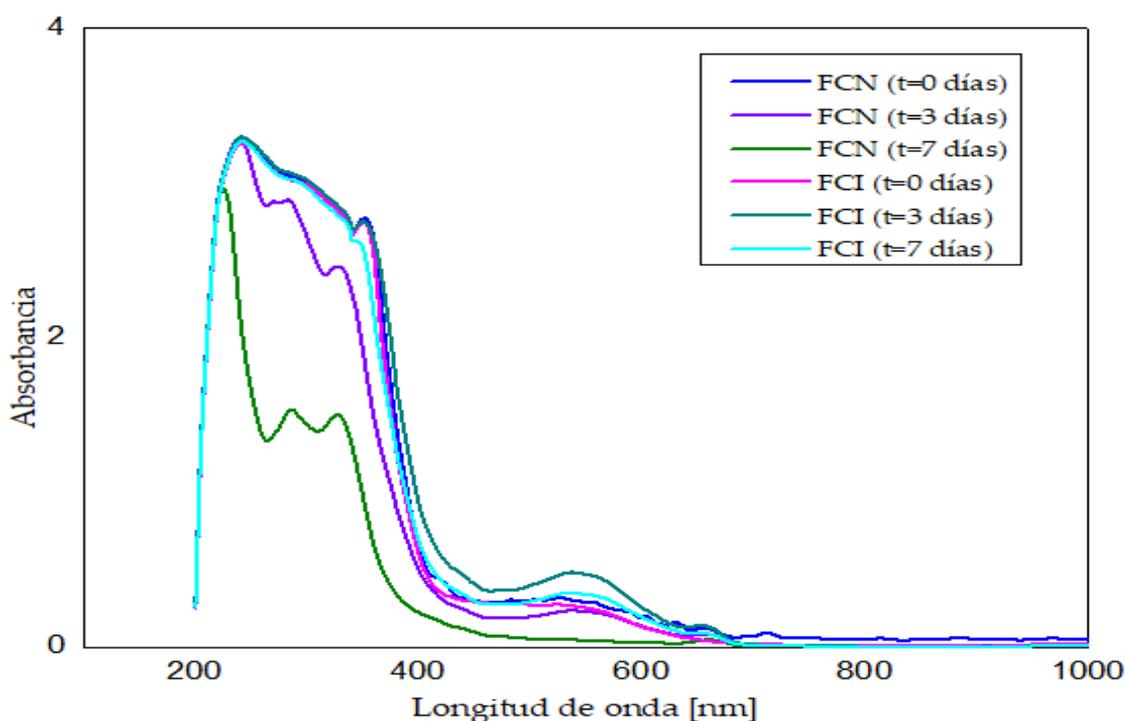


Figura 4.4. Espectros UV-Vis de extractos del fruto arándano completo con y sin \blacktriangleright radiación a ditintos tiempos de almacenamiento.

Como se puede apreciar en la figura 4.4 a medida que pasan los días la concentración de compuestos disminuye paulatinamente en la muestra no tratada, mientras que en las sometidas a tratamiento de conservación la

concentración de compuestos se mantiene prácticamente en valores muy cercanos a la muestra control. (FCN a cero días).

En la Figura 4.5 se muestran los espectros UV-Vis obtenidos de los extractos del fruto de arándano sin tratamiento (a los 0 y 7 días), con tratamiento convencional FCHel a baja temperatura (4 °C) y con tratamiento de irradiación (FCI) a los 7 días después de la conservación.

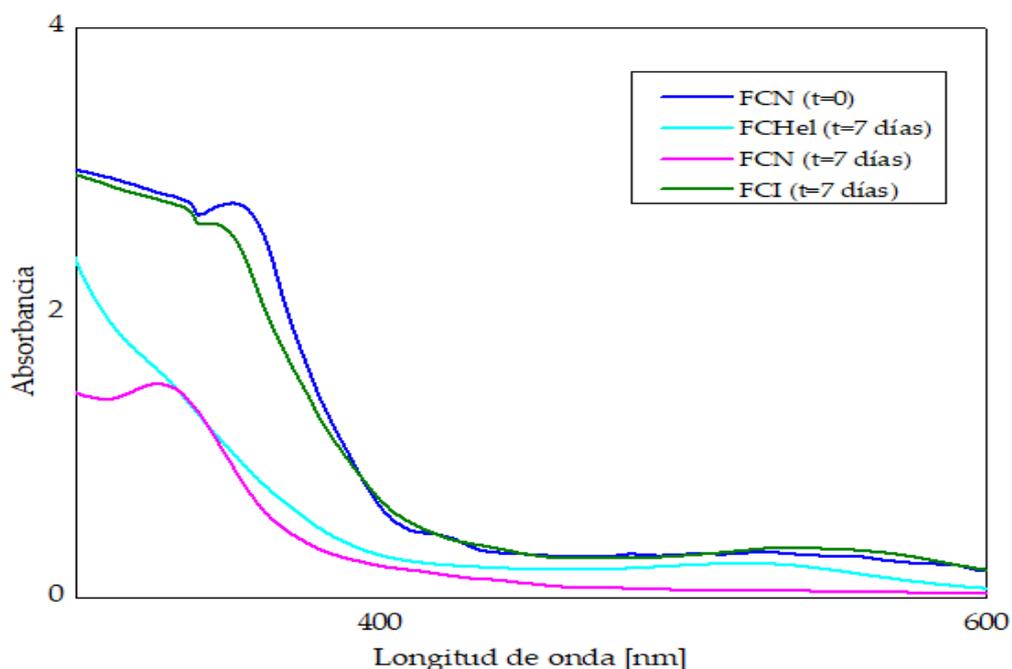


Figura 4.5. Espectros UV-Vis del fruto arándano completo a distintas condiciones de almacenamiento.

Se observa que los espectros de los frutos sometidos al método de irradiación propuesto se aproximan a la muestra de control (FCN a los 0 días).

En la Figura 4.6 se muestran los espectros UV-V obtenidos de los extractos de la cáscara (C) y la pulpa (P) del fruto de arándano con y sin tratamiento a los 0 días.

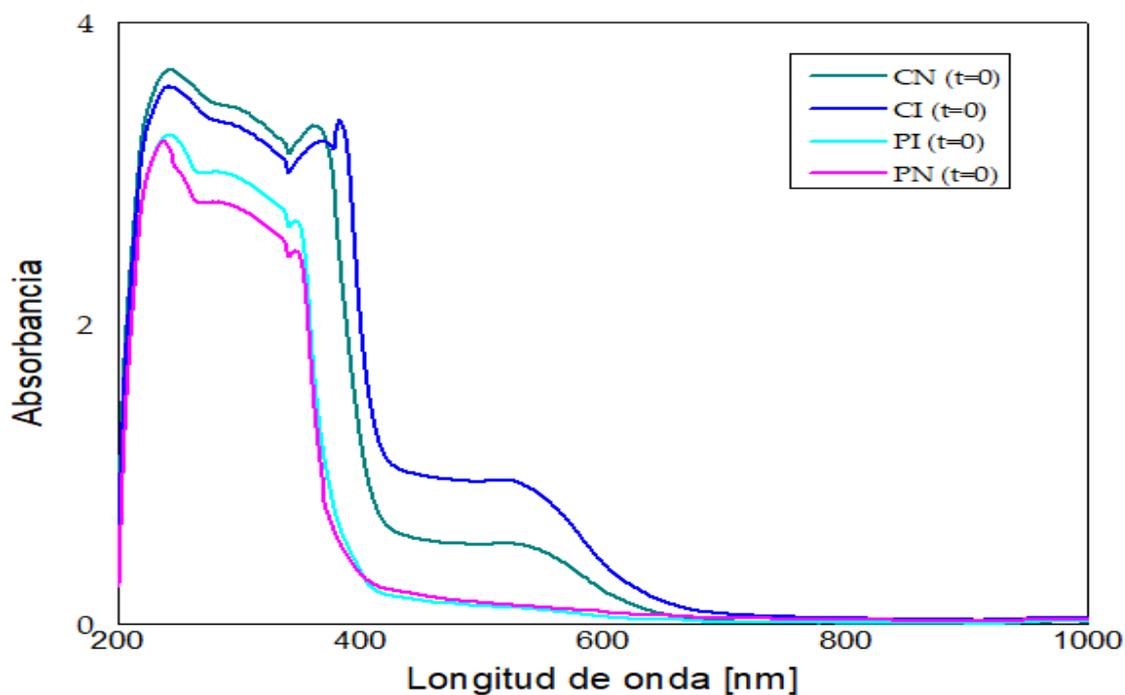


Figura 4.6. Espectros UV-Vis a partir de extractos obtenidos de la cáscara y pulpa del fruto arándano con y sin tratamiento medidas a tiempo cero.

Se observa que la cáscara es más afectada por la irradiación, como era de esperar al proponer este método. Es decir que hay un efecto superficial en la fruta al realizar el tratamiento.

Las Figuras 4.7, 4.8, 4.9, 4.10 muestran los cromatogramas obtenidos en HPLC de extractos de frutos enteros de arándano en el momento inicial y a los 3 días.

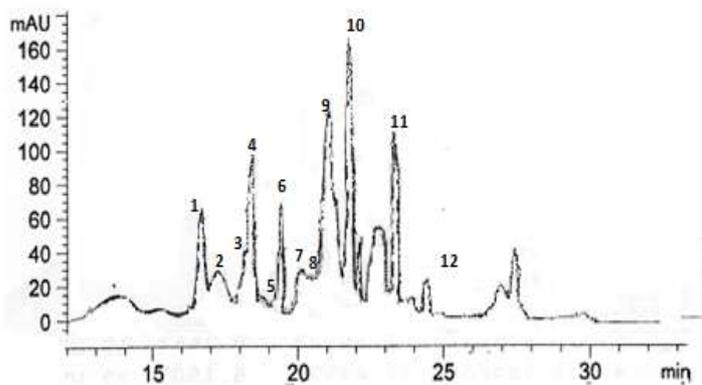


Figura 4.7: Cromatograma de HPLC a 520 nm. FCN (0 días)

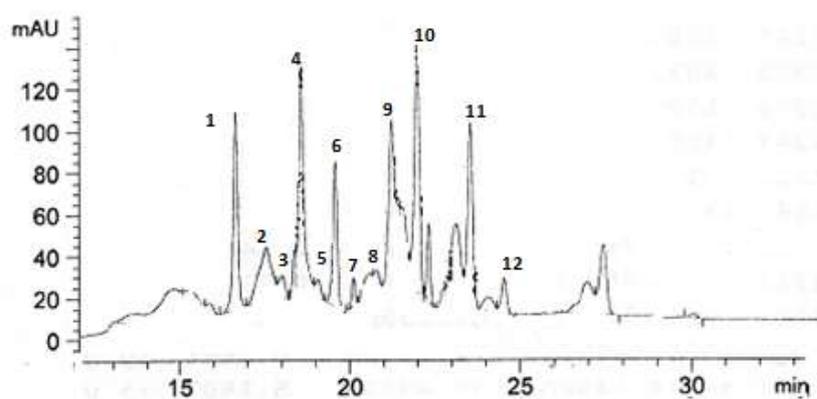


Figura 4.8. Cromatograma de HPLC a 520 nm. FCI (0 días)

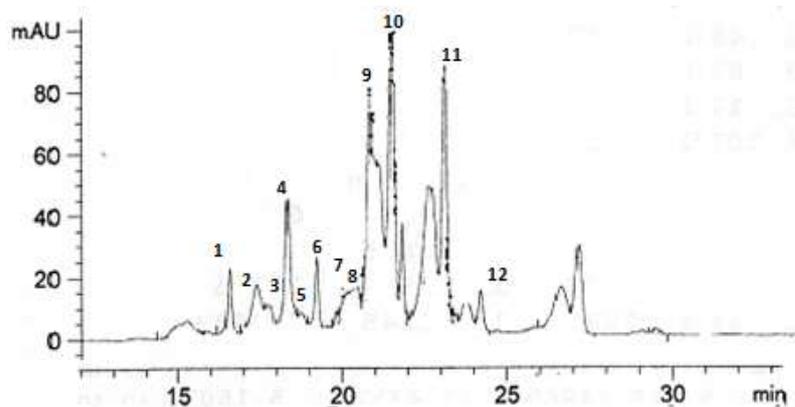


Figura 4.9. Cromatograma de HPLC a 520 nm. FCN (3 días)

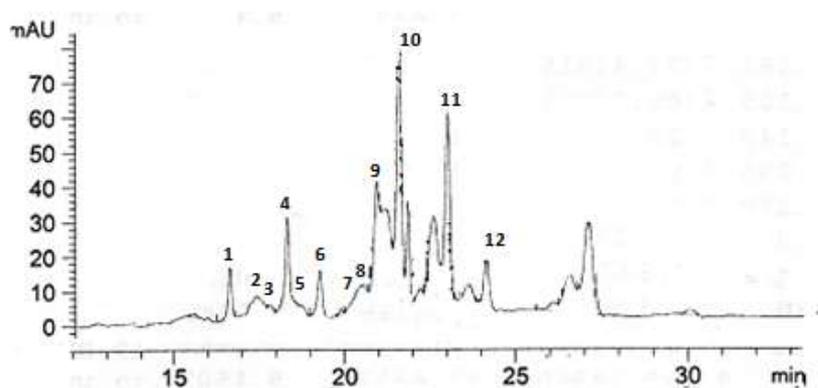


Figura 4.10. Cromatograma de HPLC a 520 nm. FCI (3 días).

Los compuestos identificados en los cromatogramas, según la literatura (Yuan, 2011), se muestran en la tabla 4.4.

Tabla 4.4. Compuestos fenólicos identificado en los cromatogramas de los extractos de fruto arándano

Pico	Compuestos	t_R (min)
1	Delfinidina-3-galactósido	16,6
2	Delfinidina-3-glucósido	17,5
3	Cianidina-3-galactósido	17,9
4	Delfinina-3-arabinósido	18,5
5	Cianidina-3-glucósido	18,9
6	Petunidina-3-galactósido	19,4
7	Cianidina-3-arabinósido	20,0
8	Petunidina-3-glucósido	20,5

9	Peonidina-3-galactósido	21,0
10	Petunidina-3-arabinósido	22,0
11	Malvidina-3-galactósido	23,4
12	Malvidina-3-glucósido	24,5

Los cromatogramas muestran que:

- 1) A tiempo cero, la irradiación aumenta la composición de compuestos como delfinidina-3-galactósido, delfinidina-3-glucósido, delfinidina-3-arabinósido, cianidina-3-glucósido, petunidina-3-galactósido, petunidina-3-glucósido, malvidina-3-galactósido y malvidina -3-glucósido.
- 2) En (cianidina-3-galactósido, cianidina-3-arabinósido, peonidina-3-galactósido y petunidina-3-arabinósido) los valores de la composición son más elevados en los extractos sin irradiación.

Las Figuras 4.11, 4.12, 4.13 y 4.14 muestran los cromatogramas obtenidos en HPLC para la cáscara y pulpa de los frutos con y sin irradiación en el momento inicial.

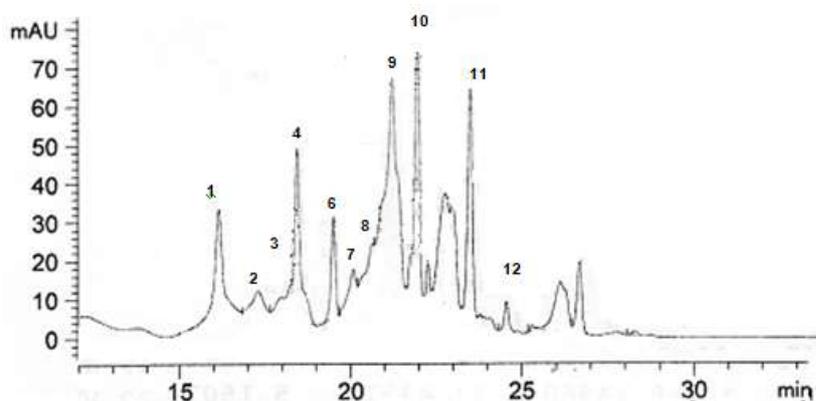


Figura 4.11. Cromatograma de HPLC a 520 nm .CN (0 días)

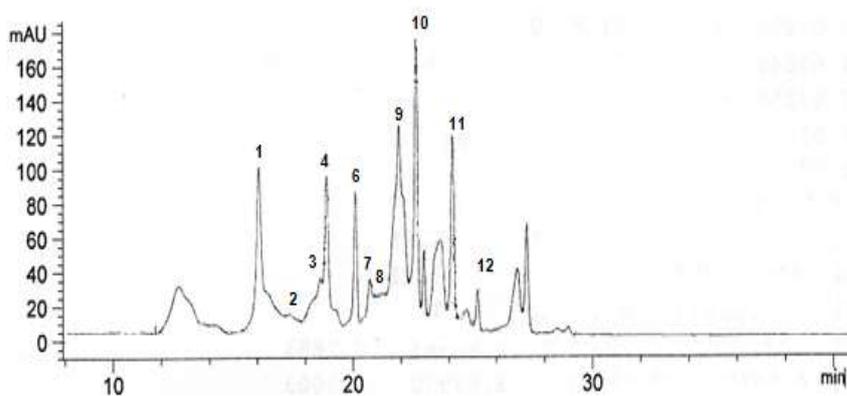


Figura 4.12. Cromatograma de HPLC a 520 nm .CI (0 días)

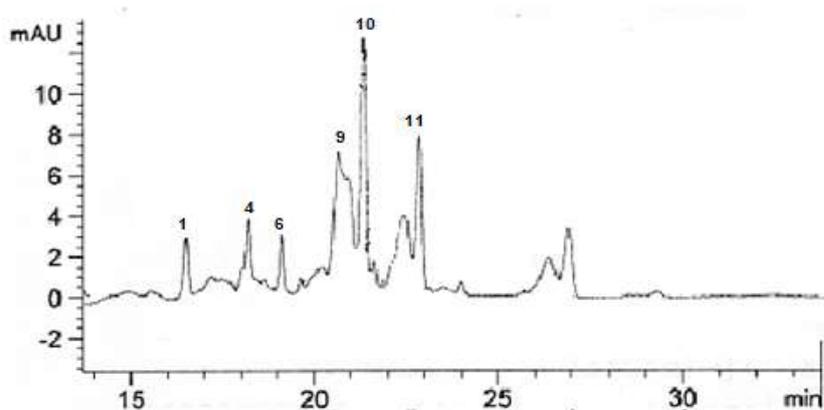


Figura 4.13. Cromatograma de HPLC a 520 nm .PN (0 días)

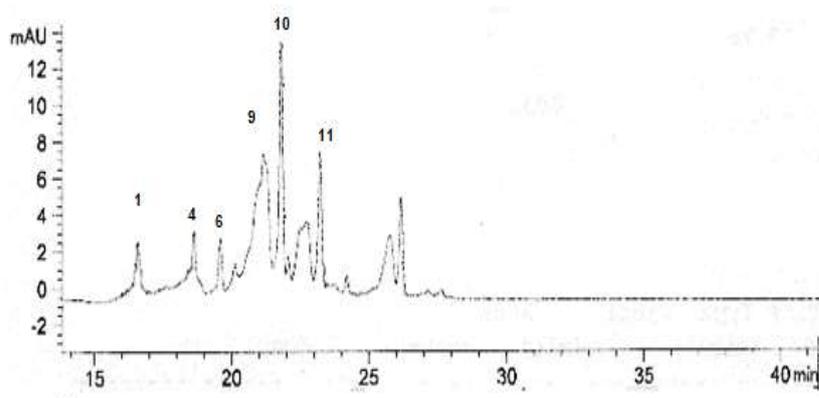


Figura 4.14. Cromatograma de HPLC a 520 nm .PI (0 días)

Los cromatogramas muestran que:

La cáscara de la fruta natural e irradiada tiene un mayor contenido de antocianinas en comparación con la pulpa. Los cambios observados en la

intensidad máxima con el tratamiento son consistentes con los obtenidos por espectroscopía UV-Vis.

Las Figuras 4.15, 4.16 y 4.17 muestran los valores de las coordenadas colorimétricas obtenidas en las muestras natural e irradiada a tiempo cero y a los tres días.

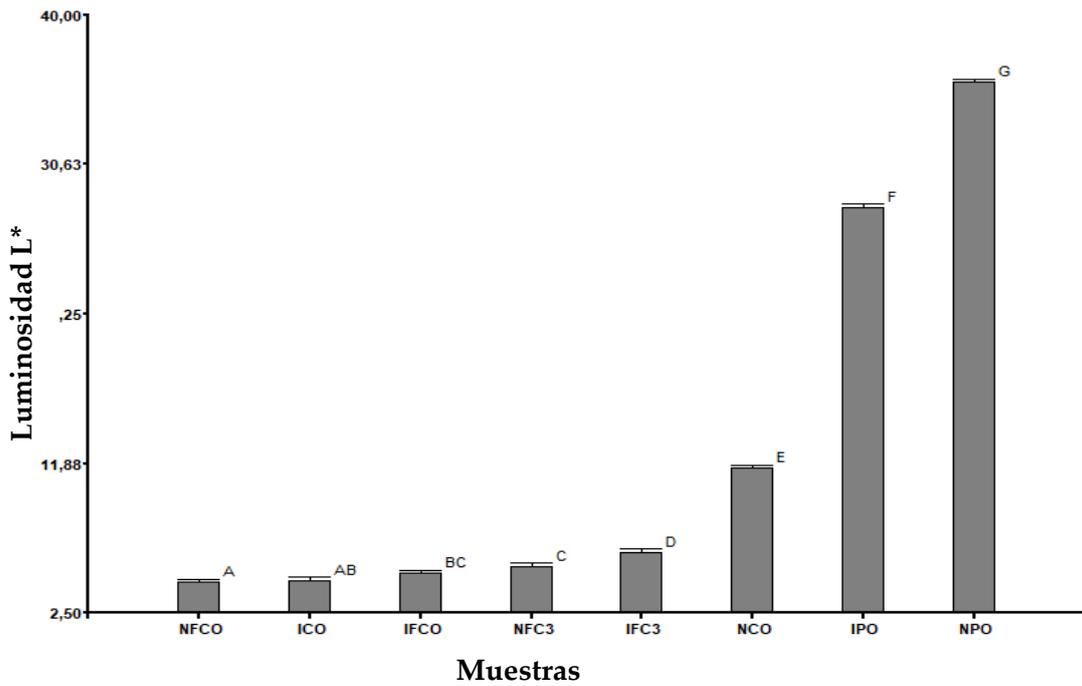


Figura 4.15. Valores del parámetro L* para las diferentes muestras.

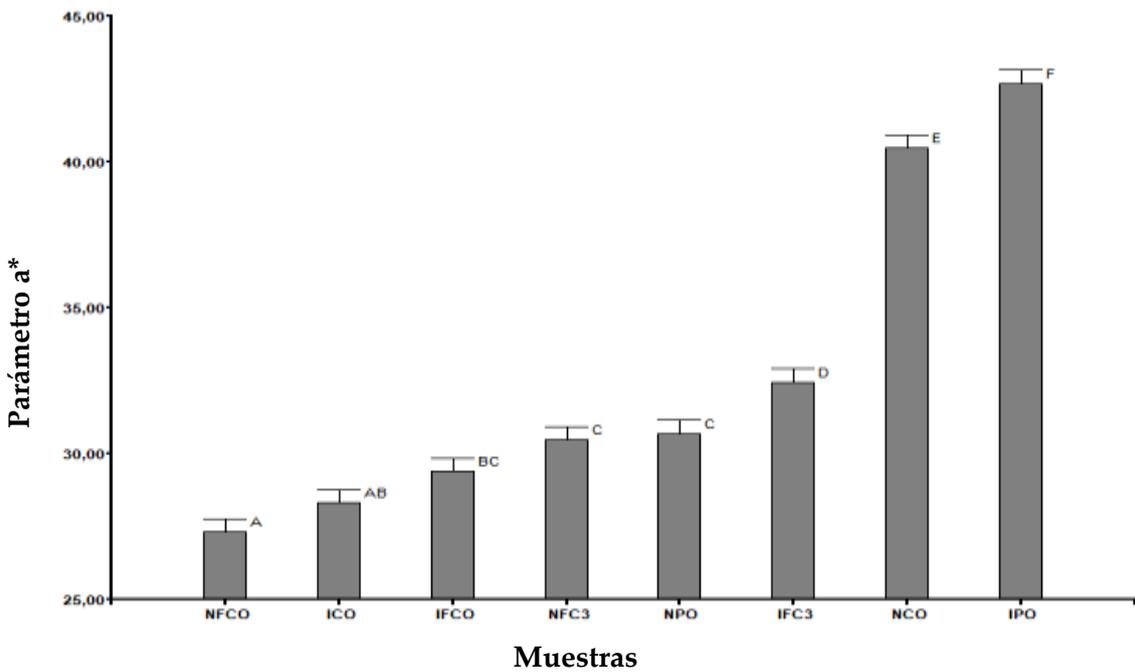


Figura 4.16. Valores de parámetro a* para las diferentes muestras.

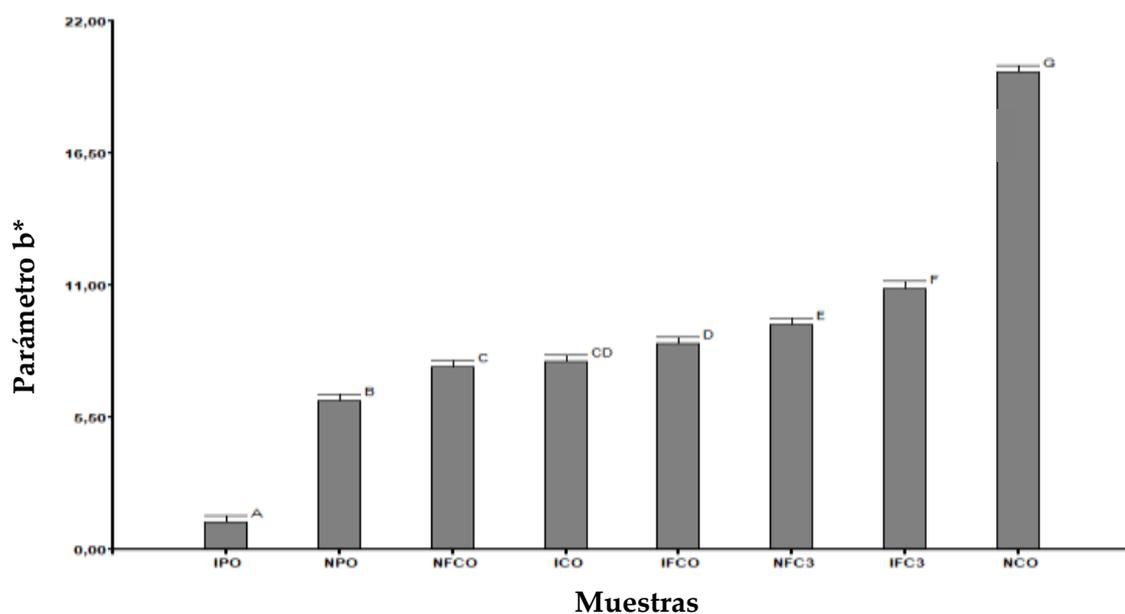


Figura 4.17. Valores del parámetro b^* para las diferentes muestras

Parámetro L^*

En el momento cero, el parámetro de luminosidad L en el extracto de fruta entera irradiado fue un 13 % más elevado que el natural. Además, se observó una disminución de la luminosidad del 61 % en el extracto de cáscara irradiado, en comparación con el obtenido de la cáscara natural. En el extracto de pulpa irradiada hubo una disminución del 22 % respecto al natural.

Se observó que en el extracto de fruta entera irradiado y conservado durante 3 días hubo un aumento del 16 %, con respecto a la luminosidad del extracto de fruta entera natural en el tiempo cero. La Luminosidad del extracto de la fruta natural completa y conservada durante 3 días, aumentó en un 23 %.

Los valores fluctuaron entre 4 y 6 indicando valores de luminosidad baja con tendencia al negro.

Parámetro a^*

En el tiempo cero, el parámetro a^* en el extracto de fruta entera irradiado fue un 8 % más elevado que el natural. Además, se observó una disminución del 30 %

en el parámetro a^* en el extracto de cáscara irradiado, con respecto al obtenido de la cáscara natural. En el extracto de la pulpa irradiada hubo un incremento del 39 % respecto al natural.

Se observó que en el extracto de fruta entera irradiado y conservado durante 3 días hubo un aumento del 19 %, en comparación con el extracto de fruta entera natural en el tiempo cero. Mientras que en el parámetro b^* del extracto natural de fruta entera y conservado durante 3 días, aumentó en un 11 %. Los valores fluctuaron entre 27 y 43.

Parámetro b^*

En el momento cero, el parámetro b^* en el extracto de fruta entera irradiado fue 13 % más elevado que el natural. Además, se observó una disminución del 61 % en b^* en el extracto de cáscara irradiado, con respecto al obtenido de la cáscara natural. Mientras que en el extracto de la pulpa irradiada hubo una disminución del 81 % con respecto al natural.

Se observó que en el extracto de fruta entera irradiado y conservado durante 3 días hubo un aumento del 43 %, con respecto a b^* del extracto de fruta entera natural en el tiempo cero. Mientras que en el parámetro b^* del extracto de la fruta entera natural y conservada durante 3 días, disminuyó un 23 %.

Los valores de b^* para la fruta entera fluctuaron entre 7 y 10, lo que indica una tendencia azul.

Los valores de las muestras tratadas con radiación UV-C presentaron un color similar a la del testigo y similar a la bibliografía (Frisón, 2021). Inmediatamente después de la aplicación del tratamiento, tanto la luminosidad (L^*), el parámetro a^* como el parámetro b^* ($b^* < 0$, representa el tono azul) de los arándanos tratados presentaron valores similares a la muestra testigo. Rodoni y otros (2015) no encontraron diferencias en la luminosidad L^* de pimientos frescos cortados por efecto de la radiación UV-C. Ortiz Araque y otros (2018) tampoco encontraron diferencias en el tono de las frutillas antes y después del tratamiento con

radiación UV-C, pero sí una reducción en L*.

Uno de los mejores parámetros para describir la variación de color es la diferencia de color (ΔE^*), ya que refleja el cambio total en todos los parámetros L*, a* y b* (ec. 4.1). Al considerar como estándar o referencia la fruta entera natural en el tiempo cero en comparación con la fruta entera irradiada en el tiempo cero, la diferencia de color fue de 2,38; con respecto a la fruta entera natural al tercer día de conservación 3,75 y con respecto a la fruta entera irradiada al tercer día de conservación 6,38.

La diferencia de color entre la fruta entera natural y la irradiada conservada durante 3 días fue de 2,66.

La diferencia de color entre las muestras y el estándar considerado como fruto natural completo a los 0 días muestra valores de ΔE^* inferiores a 6.

4.9.3 Análisis estadístico

Los resultados obtenidos se analizaron estadísticamente mediante el software InfoStat mediante análisis de varianza (ANOVA). La comparación de medias se realizó mediante el Test de Mínima Diferencia de Fisher (LSD) con un nivel de confianza del 95 %.

4.9.4 Conclusiones

El contenido de polifenoles varió para frutas irradiadas y no tratadas dependiendo del tiempo.

Los frutos irradiados y conservados a temperatura ambiente muestran un comportamiento similar al de los frutos naturales a tiempo cero, manteniendo la madurez fisiológica y fenológica del fruto y por tanto sus propiedades organolépticas, mostradas en color.

Se observó un ligero aumento de luminosidad al tercer día de los extractos de los frutos en conservación con y sin radiación, siendo mayor el aumento en el natural, lo que indica que el tratamiento no afecta este parámetro de forma

considerable. Mientras tanto, la luminosidad del extracto obtenido de la piel y la pulpa irradiada disminuyó con respecto al natural en el tiempo cero, lo que indica que ambos se oscurecieron por efecto de la irradiación.

La diferencia de color entre las muestras tratadas y las muestras control en el tiempo cero fue baja, incrementándose posteriormente con el tiempo de conservación, concluyendo que es dinámica.

No hubo diferencias apreciables en el cambio de color debido a la irradiación. Por este motivo se considera que la irradiación de arándanos es un método muy valioso para la conservación.



CAPITULO 5:

**Diseño, construcción y
utilización del equipo de
aplicación de método**

5.1 Diseño del equipo de aplicación

En este capítulo se muestra DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y APLICACION de un prototipo para la conservación de arándanos. El mismo fue construido en el Laboratorio de Física Aplicada, ubicado en el Departamento de Física, FACET-UNT.

El equipo diseñado y construido se muestra en las figura 5.1:

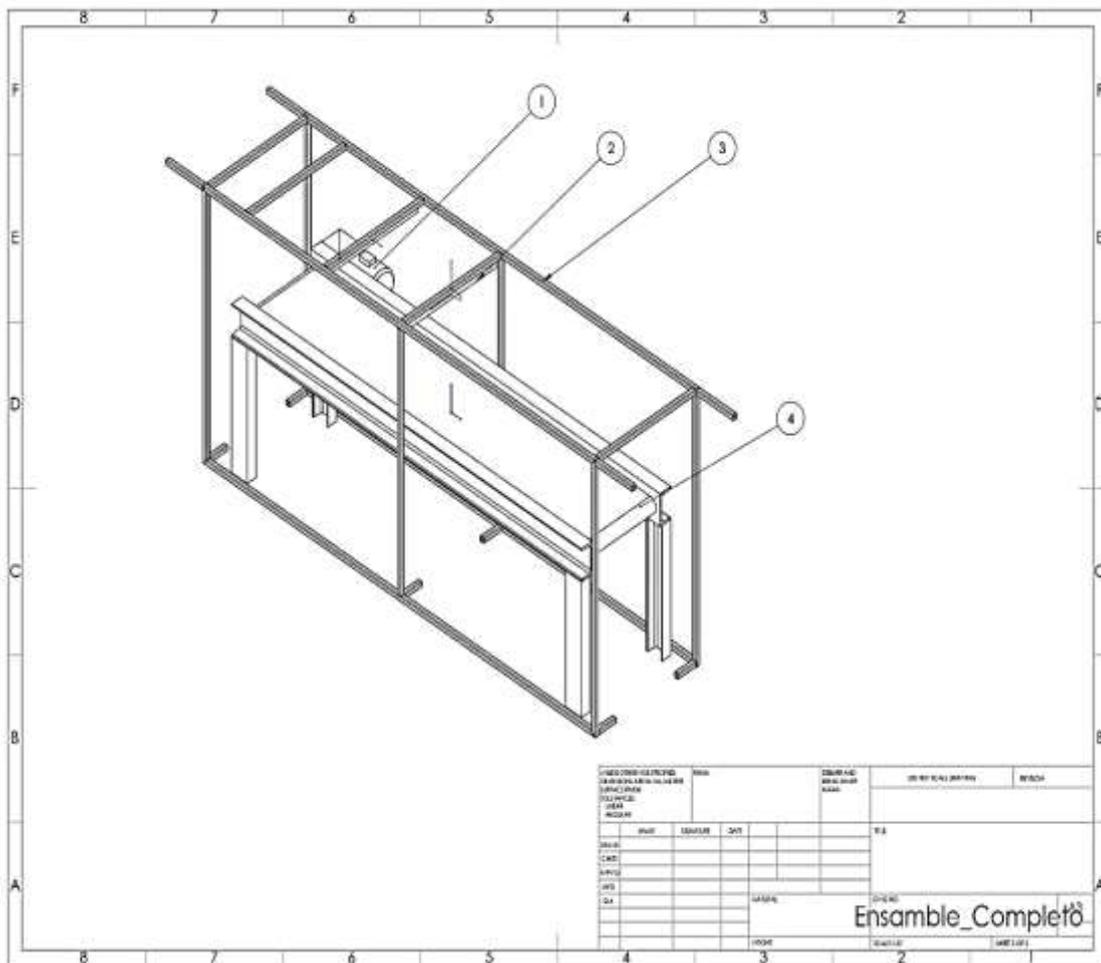


Figura 5.1. Prototipo propuesto. Plano de ensamble completo.

Referencias: 1_Motor. 2_ Lámpara UV-C. 3_ Estructura metálica. 4_Cinta transportadora



Fig. 5.3. Prototipo propuesto. a_ Cinta transportadora y estructura de cámara. b_ Lámparas sobre estructura de cámaras. c_ Cubierta de madera sobre estructura metálica.

Cámara

La cobertura exterior fue construida con madera recubierta con polietileno descartable color blanco y finalmente un polietileno negro. De este modo se evita la salida de radiación UV protegiendo a los trabajadores.

Características de las lámparas

Para el armado de la cámara se usó 2 lámparas Osram Puritec – HNS 15W, que emiten en la zona de longitudes de onda entre 200 y 280 nm (correspondiente a la radiación UV tipo C) con un máximo en 253,7 nm. Estas lámparas poseen una acción germicida que matan o neutralizan la acción de virus, bacterias y otros microorganismos primitivos, por lo que se utiliza principalmente en la esterilización de superficies y ambientes, locales médicos, farmacéuticos e industria alimentaria. Es importante resaltar, que por lo dicho anteriormente, se debe evitar la exposición de ojos y piel.

Fuente de emisión de UV: “lámparas germicidas” TUV 15W

Longitud de tubo: 46 cm

Diámetro de tubo: 2.6 cm.

Longitud de onda en la que emiten la mayor parte de su energía: 253.7 nm

La Intensidad a un metro de distancia es de 37 W/cm² en esa longitud de onda, según datos del fabricante.

La potencia radiada por cada lámpara, según el fabricante, es 3.5 W

Las fuentes están suspendidas en una estructura metálica que posibilita cambiar la geometría de acuerdo a la necesidad.

Se buscó obtener radiación pulsada a lo largo del trayecto de la fruta sobre la cinta, según los valores obtenidos de los ensayos a nivel Laboratorio. Para esto se colocó las lámparas a una distancia vertical $h = 30$ cm de la cinta, separadas entre ellas $x = 160$ cm y colocadas perpendicularmente a la cinta.

Al diseñar el equipo se tuvo en cuenta que:

La distribución de la radiación sobre el alimento, debe ser tal que cada punto del alimento reciba la misma radiación en todos los puntos de la superficie.

La distancia de la fuente de radiación al alimento debe ser variable ya que pueden haber varios factores, tal como tamaño del fruto, que pueden variar. (UVTechnology Inc., 2014).

#Dosis mínima de radiaciones necesaria para eliminar determinado microorganismo. La dosis es la que determina si un alimento fue desinfectado adecuadamente. Diferentes alimentos sólidos sometidos a tratamientos con radiación UV-C requieren una dosis mínima necesaria para la inactivación de determinado microorganismo. Sin embargo; si esta dosis suministrada es mucho mayor a la recomendada, se pueden presentar diversos problemas como pérdidas de vitaminas, cambios de color o textura (Haro-Maza y Guerrero-Beltrán, 2013).

#La morfología del alimento puede provocar una disminución de la eficiencia germicida si la superficie es irregular, la radiación UVC no penetrará en espacios ocultos o que se encuentren cubiertos por sustancias extrañas.

5.2 Determinación de la dosis UV

Los microorganismos expuestos a la radiación ultravioleta están sujetos a una dosis de exposición (fluencia) que es una función de la irradiancia multiplicada por el tiempo de exposición, (Kowalski, 2009). Esta ecuación ha sido utilizada para determinar la dosis suministrada a una gran variedad de alimentos como frutas, verduras y carnes (Lyon, 2007).

$$D = I * t \quad (\text{ec. 5.1})$$

Donde:

D: dosis de radiación UV-C por unidad de área [J/cm²],

I: intensidad de la radiación medida a la distancia que se localiza el alimento [W/cm²]

t: tiempo durante el cual el alimentos es expuesto [s]

La dosis permite diseñar adecuadamente los equipos, ya que al determinar un área aproximada total a procesar del alimento en cuestión y multiplicarse por la dosis, se puede determinar un número de lámparas necesario para suministrar la energía requerida o la velocidad de procesamiento (Reyco Systems, 2015).

Caracterización de la lámpara

- Irradiancia espectral: definida como función de la longitud de onda del fotón (o energía) y representada como una F , es la forma más común de caracterizar una fuente de luz. Proporciona la densidad de potencia de una longitud de onda particular.

Las unidades de irradiancia espectral son $[Wm^{-2}\mu m^{-1}]$.

Siendo $[W.m^{-2}]$: densidad de potencia de la longitud de onda λ $[\mu m]$. Por lo tanto, el $[m^{-2}]$ se refiere a la superficie del emisor de luz y el $[\mu m^{-1}]$ se refiere a la longitud de onda de interés.

- Irradiancia: La irradiancia se define como la potencia radiante total desde todas las direcciones ascendentes (hemisféricas) que inciden sobre un elemento infinitesimal de superficie plana y tiene las unidades W / m^2 (Bolton y Cotton 2001). La irradiancia también se puede definir como el flujo total dividido por el área proyectada sobre la que incide. La irradiancia es la cantidad que se mide y emplea con más frecuencia para estimar la dosis de UV. (Driscoll y Vaughan, 2001).

Para un haz incidente paralelo y perpendicularmente a la superficie, no disperso ni reflejado, la irradiancia y la velocidad de fluencia se vuelven idénticas.

- La dosis de UV, representa la energía radiante total incidente sobre una superficie o un microorganismo y tiene las unidades J/m^2 ($W-s/m^2$).

Se entiende que la dosis de UV se refiere a la dosis de exposición a los UV, siendo la dosis a la que la superficie o microbio está expuesto, y no la dosis absorbida, que se desconoce (Kolwaski, 2009).

5.3 Estudio de las lámparas UV

Con el fin de obtener el espectro de emisión y la intensidad en función de la porción de la lámpara que se considere se tomaron tres posiciones a lo largo del eje de la lámpara, los extremos y el punto medio.

Se observa que la irradiancia alcanza su punto máximo en el punto medio de la lámpara y disminuye hacia los extremos.

Puede haber poca variación en la irradiancia alrededor del eje de la lámpara, por lo que tal vez dos lecturas (0° y 180°) pueden ser suficientes.

Todas las mediciones de irradiancia deben realizarse frente a la fuente, ya que la irradiancia variará con respecto al coseno del ángulo entre el eje óptico y el normal al detector.

En la figura 5.4 se observa una foto de la lámpara utilizada en las mediciones.



Figura 5.4. Lámpara OSRAM Germicidal Puritec - HNS 15W G13 - G15T8/OF (Lámpara UV)

5.3.1 Medición de Irradiancia y transmitancia espectral

Las mediciones de irradiancia y transmitancia espectral se realizaron en el Laboratorio de Radiometria del Departamento de luminotecnia, Luz y vision.

Las mediciones se realizaron según las condiciones que se detallan a continuación:

Tiempo de calentamiento previo a la medición (warm-up):	15 min aprox.
Dispositivo de entrada del medidor	Esfera Integradora
Distancia de medición:	D1: 83 cm a boca de esfera D2: 49 cm a boca de esfera D3: 23 cm a boca de esfera D4: 83 cm de altura y 40 cm desplazada de la entrada En las posiciones: P1: Extremo derecho, P2: Centro de la lámpara y P3: Extremo izquierdo.
Rango espectral de medición:	250 a 398 nm
Ancho de banda de medición:	4 nm
Paso de medición:	Cada 4 nm
Temperatura:	22 °C ± 1 °C

Equipos e Instrumental de medición utilizado

	Marca / Modelo	Características	Trazabilidad
Espectrorradiometro	OPTRONIC OL 750	Con esfera integradora en la entrada	Cal 250 a 2198 nm_4nm_M81 7_2019- 02- 19.cal

En la figura 5.5 se muestra la lámpara UV-C en la cabina de medición



Figura 5.5. Medición de Irradiancia y transmitancia espectral. Cabina de medición.

En la figura 5.6 se muestra el equipo e Instrumental de medición utilizado.

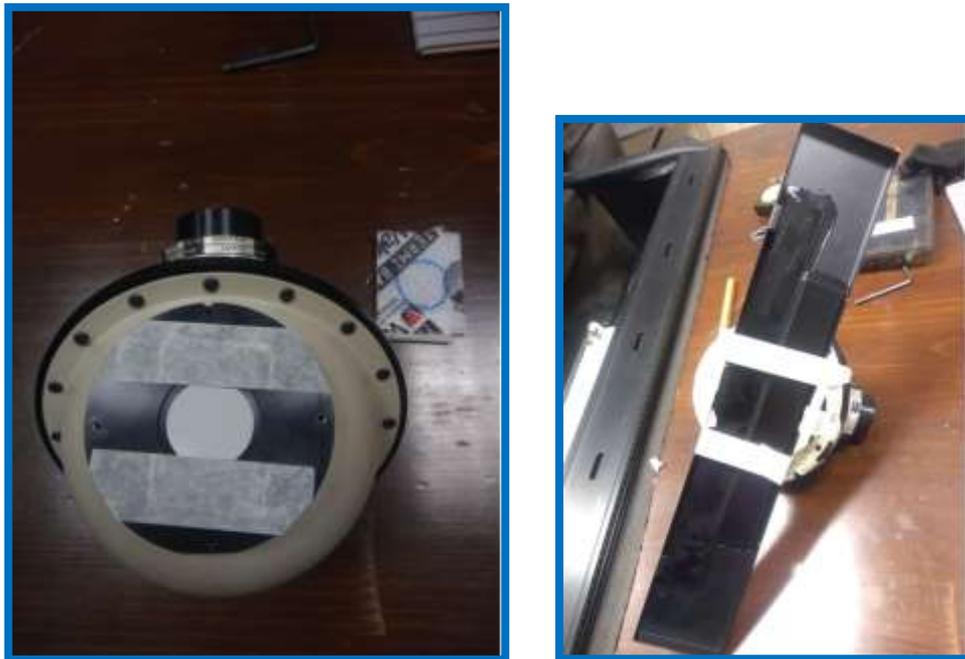


Figura 5.6. Equipos e Instrumental de medición utilizado. Esfera integradora.

En la figura 5.7 se muestra un esquema de las distancias usadas en las mediciones.

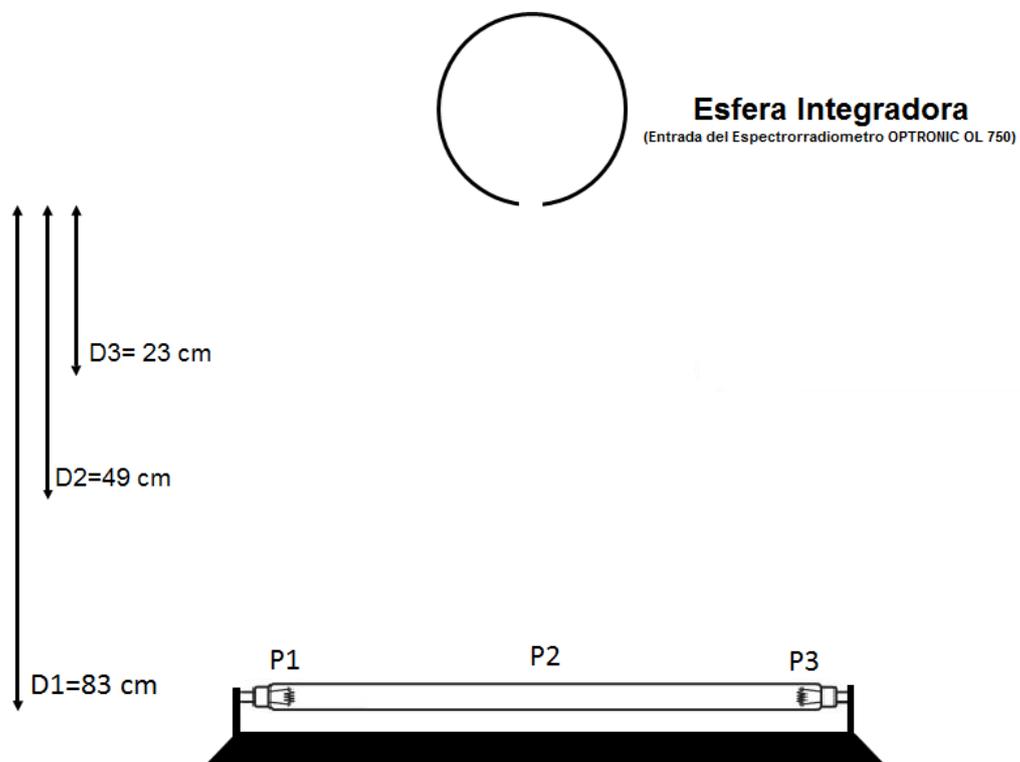


Fig. 5.7. Esquema del instrumento – lámpara, para las distancias D1, D2 y D3, en los puntos P1, P2 y P3 frente a la entrada.

5.3.2 Resultados

Irradiancia espectral

La siguiente figura muestra Irradiancia espectral para la distancia D1 medida a 83 cm desde la boca de la esfera integradora.

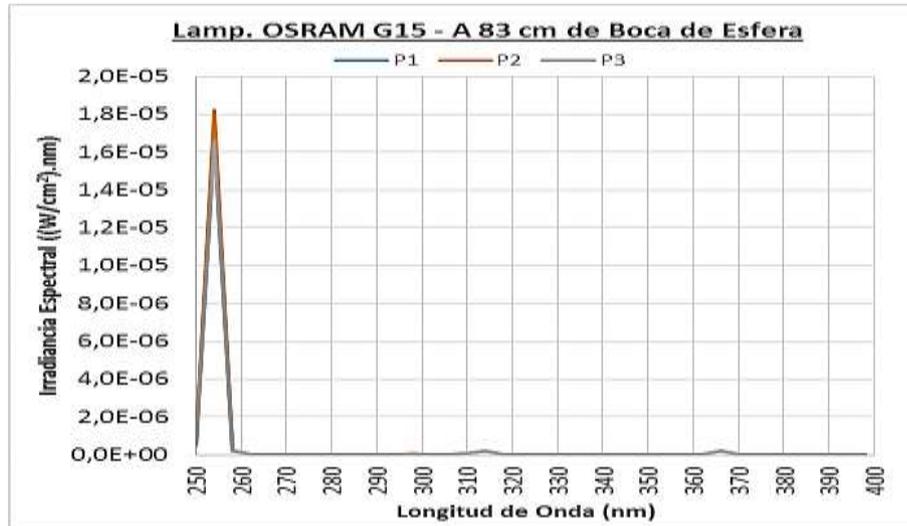


Fig. 5.8. Irradiancia espectral para la distancia D1

En la figura se observa claramente que el máximo de irradiancia se obtiene a una longitud de onda de 254 nm

La figura 5.9 muestra la Irradiancia espectral para la distancia D2 (49 cm desde la boca de la esfera integradora).

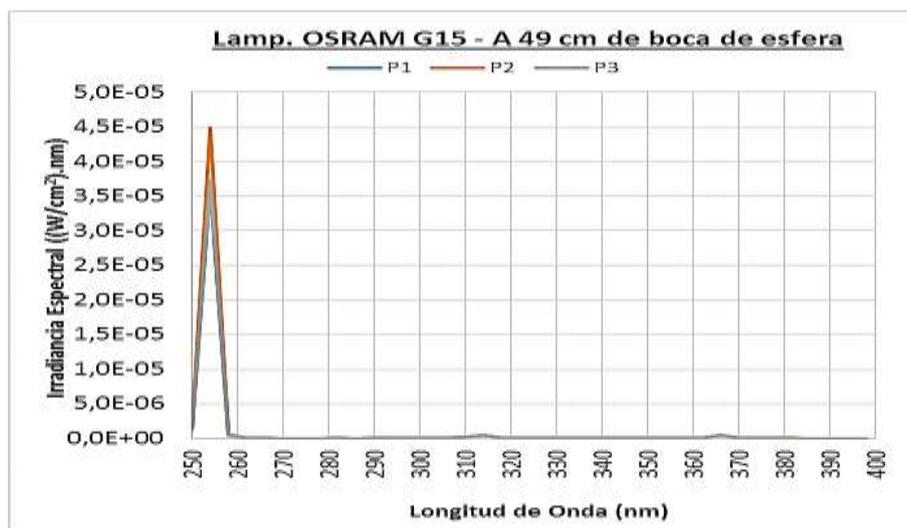


Fig. 5.9. Irradiancia espectral para la distancia D2

La figura 5.10 muestra la irradiancia espectral para la distancia D3 (23 cm desde la boca de la esfera integradora).

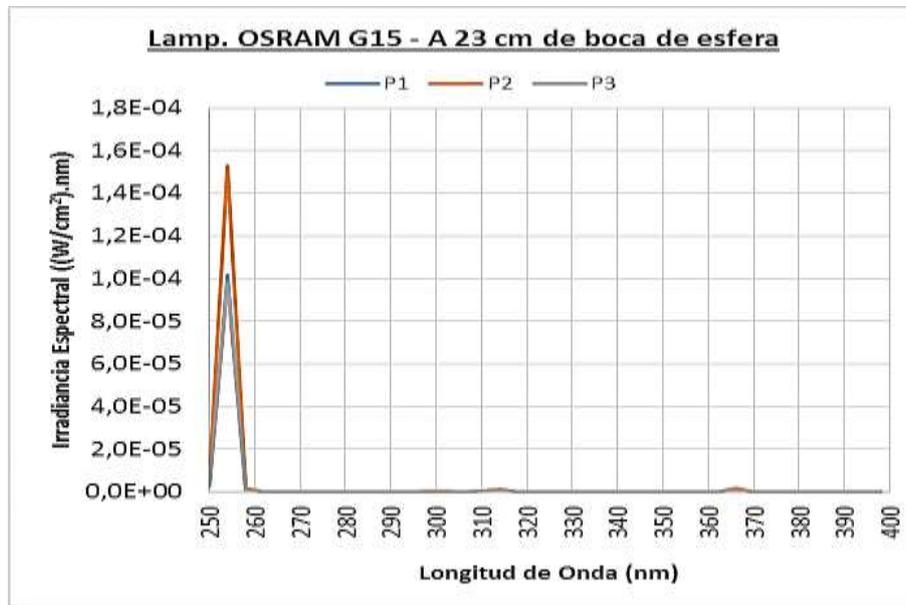


Fig. 5.10. Irradiancia espectral para la distancia D3.

En la figura 5.11 se observa la Irradiancia espectral para la distancia D1 con lámpara desplazada transversalmente a la longitud 40cm respecto de la boca de entrada de la esfera integradora.

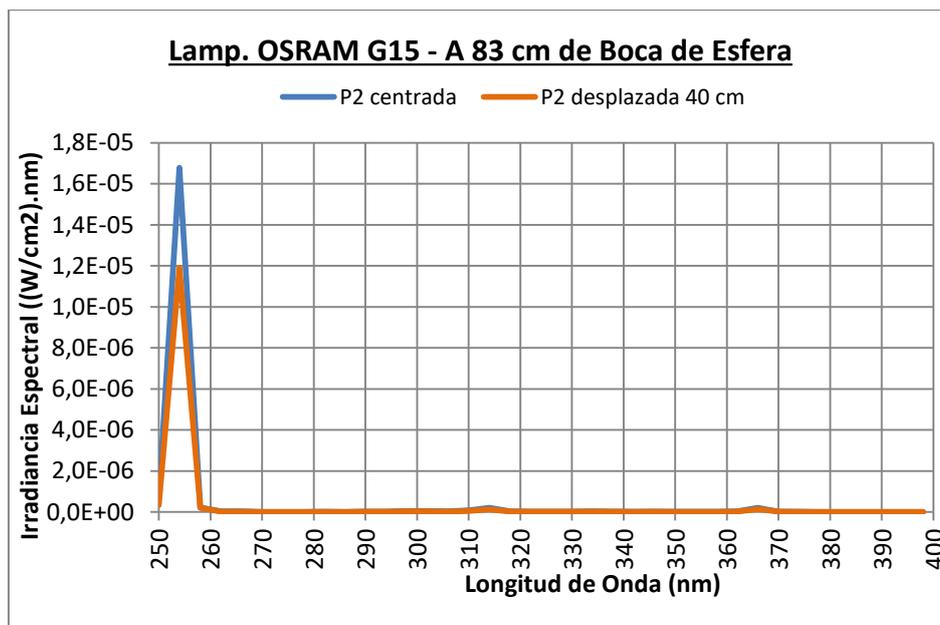


Fig. 5.11. Irradiancia espectral para la distancia D1 con lámpara desplazada.

Transmitancias

En la tabla 5.1 se muestran las irradiancia espectral para lámpara Osram G15 directa, con polietileno y vidrio, y transmitancias de diferentes materiales.

Tabla 5.1. Irradiancia espectral a distinta longitud de onda para lámpara Osram G15 directa, con polietileno y vidrio. Transmitancia de polietileno y vidrio. Medida a 24 cm de la fuente.

Longitud de Onda (nm)	Irradiancia Espectral ((W/cm ²).nm)			Transmitancia Polietileno [%]	Transmitancia Vidrio [%]
	Lámpara OSRAM G15	C/ Polietileno	C/ Vidrio		
250	4,30E-06	6,97E-07	2,89E-06	16	67
254	1,46E-04	2,52E-05	7,77E-05	17	53
258	2,27E-06	3,51E-07	9,89E-07	15	44
262	2,87E-07	4,65E-08	1,54E-07	16	54
266	2,36E-07	3,84E-08	1,43E-07	16	61

En la figura 5.12 se observa la magnitud transmitancia de diferentes materiales

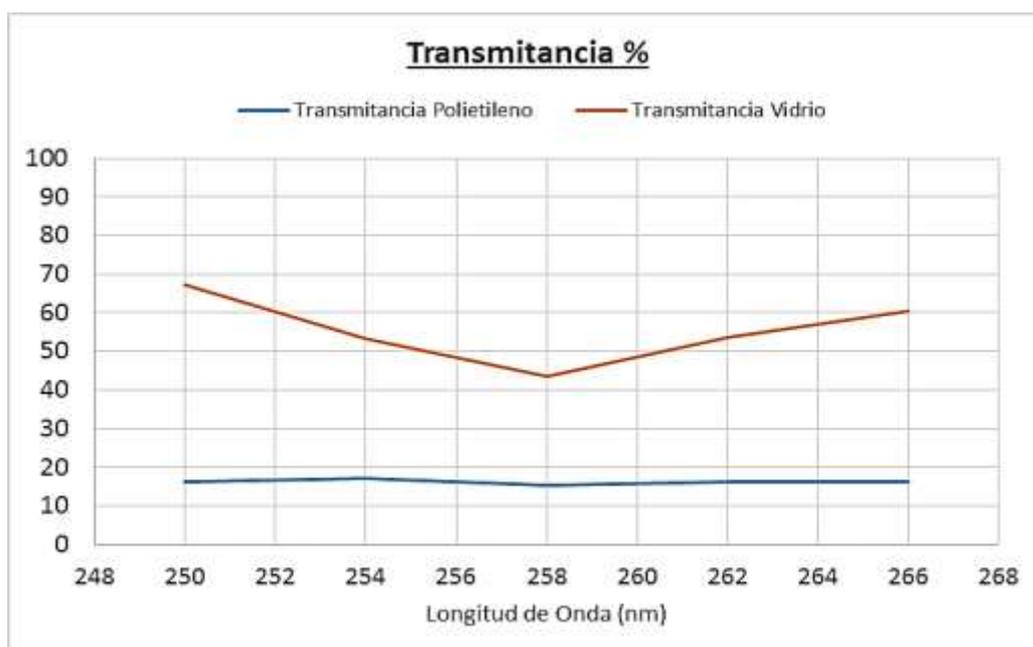


Fig. 5.12. Transmitancia de Polietileno y vidrio.

Transmitancias Promedio en la región de 248-268 nm:

Vidrio: 56%

Polietileno: 16%

Las figuras. 5.13 muestran la Irradiancia en función de la distancia de medición D y posición de la lámpara P.

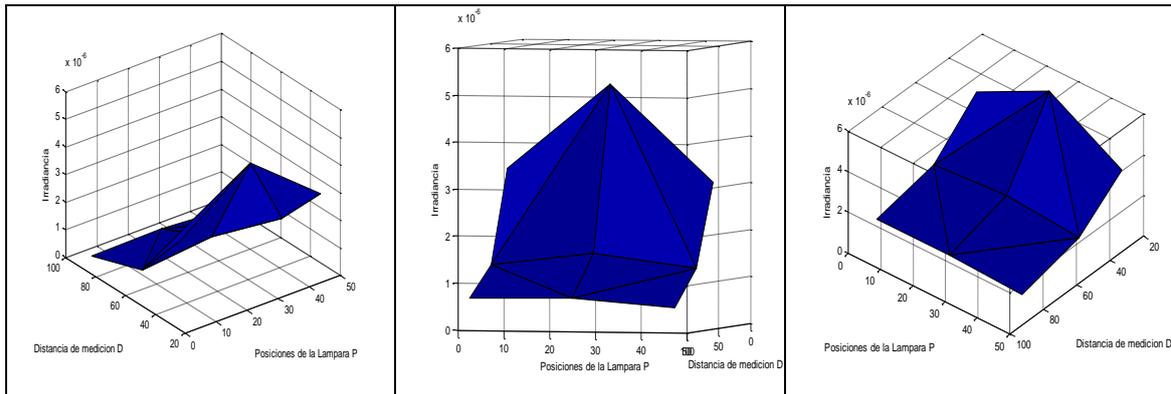


Fig. 5.13. Irradiancia en función de la distancia de medición D y posición de la lámpara.

5.4 Escalamiento

Proceso mediante el cual se desarrollan los criterios y las reglas de asignación numérica que determinan las unidades de medida significativas para llevar de un tamaño dado a otro tamaño mayor o menor una operación u objeto.

El uso del equipamiento en laboratorio tuvo como objetivo:

Evaluar el comportamiento que presentará en una escala mayor en condiciones similares ajustando las condiciones de funcionamiento. En este caso los datos obtenidos serán la base para el diseño del prototipo a mayor escala.

Esto permitió desarrollar una serie de habilidades tales como:

- Toma de decisiones
- Manejo y manipulación de variables
- Comprensión de procesos
- Resolución de problemas

- Pro-actividad
- Control de tiempos
- Interdisciplinariedad
- Creatividad

El prototipo a nivel laboratorio permitió experimentar de forma económica y eficaz el comportamiento al escalar de:

- Condiciones de operación.
- Parámetros de diseño.
- Materiales de construcción.
- Procedimientos operativos.
- Problemas de trabajo.
- Problemas ambientales

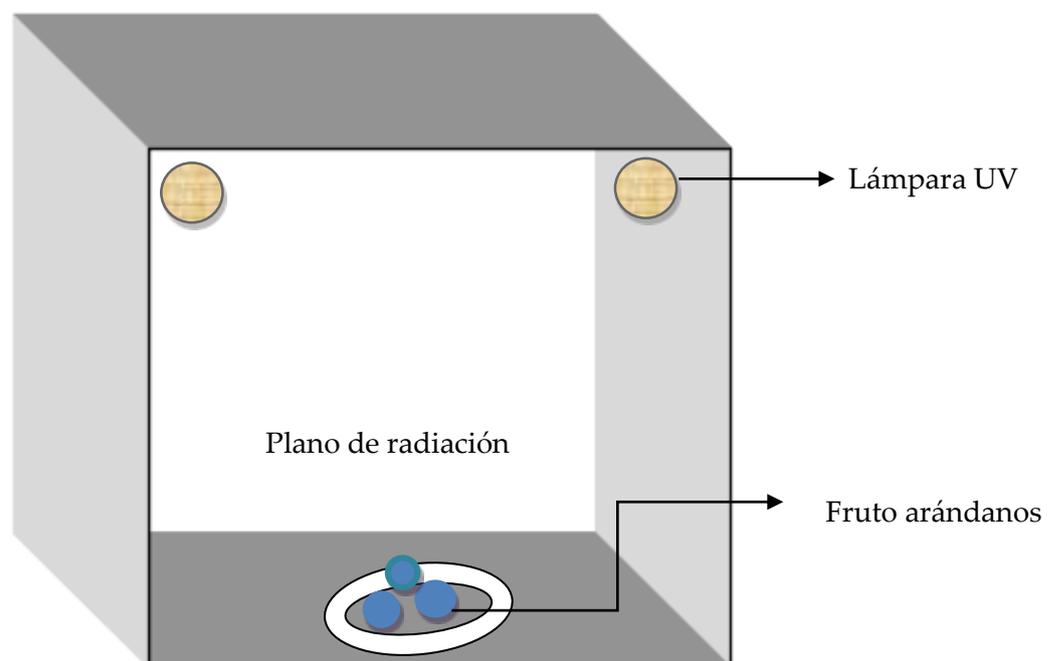


Fig. 5.14. Esquema del equipo utilizado en laboratorio.

La dosis a usar en el prototipo a nivel planta piloto será estimada debido a la falta de equipamiento de medición que permitiría realizar mediciones in-situ.

A partir de la ec. 5.1:

$$D = I * t$$

Donde:

D: dosis de radiación UV-C por unidad de área [J/cm^2],

I: intensidad de la radiación medida a la misma distancia a la que se localiza el alimento [W/cm^2]

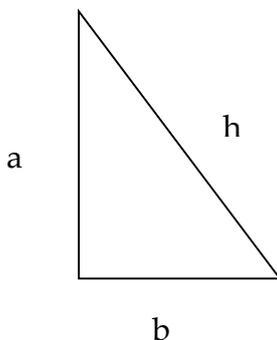
t: tiempo durante el cual el alimentos es expuesto [s]

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos a partir de determinaciones con una lámpara, se evaluaron diferentes situaciones, encontrando la distribución geométrica más adecuada a ser reproducida en el ensayo a nivel laboratorio.

Para una lámpara

Aproximación:

De acuerdo a la geometría del equipo utilizado en el laboratorio, para una lámpara



Siendo

$$a = 18 \text{ cm}; \quad b = 16 \text{ cm}$$

$$h^2 = a^2 + b^2$$

$$h = 24 \text{ cm}$$

El mismo presentaba vidrio, siendo la irradiancia espectral recibida por el fruto a 24 cm:

$$I_e = 7,77 \cdot 10^{-5} \text{ W/cm}^2 \cdot \text{nm}$$

A partir de:

$$I = I_e \cdot \lambda \quad (\text{ec. 5.2})$$

donde

Irradiancia [I]= [W/cm²]

Irradiancia espectral [I_e] = [W/cm².nm]

Longitud de onda [λ]= [nm]

$$I = 0,0197 \text{ W/cm}^2$$

Para un tiempo de 10 s

$$D = 0,197358 \text{ J/cm}^2$$

Para 2 lámparas, dosis total será:

$$DT = 0,3946 \text{ J/cm}^2$$

$$DT = 3,946 \text{ kJ/m}^2$$

Parámetro de diseño

5.5 Diseño del prototipo

En la figura 5.15 se observa un corte transversal del prototipo. Se observa la distribución de las lámparas y las distintas posiciones consideradas.

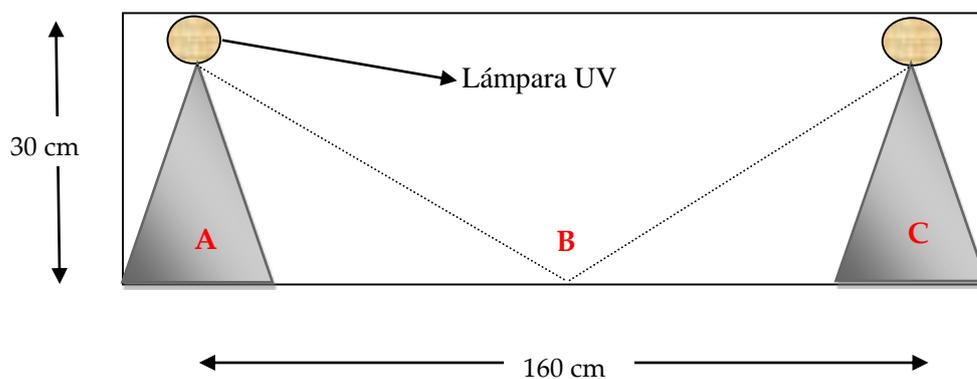
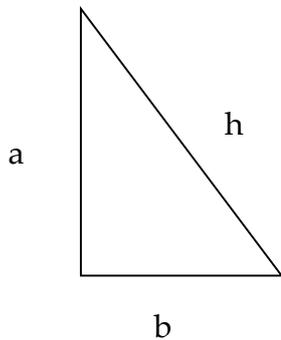


Fig. 5.15. Esquema de corte transversal del prototipo.

Como la Altura desde cinta a las lámparas es de 30 cm, se puede calcular la irradiancia de cada lámpara en las diferentes puntas, así:

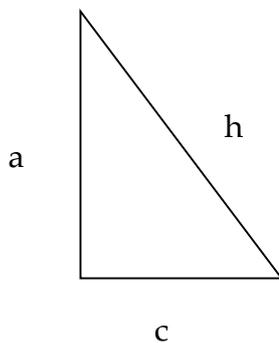


si

$$a = 30 \text{ cm}; \quad b = 160 \text{ cm}$$

$$h^2 = a^2 + b^2$$

$$h = 168,788 \text{ cm}$$



si

$$a = 30 \text{ cm}; \quad c = 80 \text{ cm}$$

$$h^2 = a^2 + b^2$$

$$h = 85,44 \text{ cm}$$

Se puede, entonces calcular la irradiancia en cada uno de los puntos indicados en la figura:

Punto A

$$IT = 0,0313 + 5,82 \cdot 10^{-4}$$

$$IT = 0,03188 \text{ W/cm}^2$$

Punto B

$$IT = 2,5933 \cdot 10^{-3} \text{ W/cm}^2$$

$$IT = 0,01186 \text{ W/cm}^2$$

Punto C

$$IT = 0,0313 + 5,82 \cdot 10^{-4}$$

$$IT = 0,03188 \text{ W/cm}^2$$

Se observa que en el punto B la irradiancia se reduce un 60% aproximadamente, logrando de este modo un efecto pulsado

Para el cálculo de los demás parámetros es necesario obtener la irradiancia promedio

$$I_m = 0,0252085 \text{ W/cm}^2$$

A partir de la dosis calculada

$$D = \bar{I} \cdot t$$

$$D = \bar{I} \cdot \frac{\Delta x}{v}$$

$$v = \bar{I} \cdot \frac{\Delta x}{D}$$

Siendo

$$D = 0,4 \text{ J/cm}^2$$

Para una distancia $\Delta x = 160 \text{ cm}$ asumiendo velocidad constante

$$v = 10,08 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

Teniendo en cuenta que la Velocidad de giro del motor eléctrico es 1500 rpm, la velocidad de rotación del eje de salida del reductor: es 37,5 rpm. y la velocidad de giro del eje de la cita es

$$n = \frac{60 \cdot f}{40 \cdot p}$$

Siendo:

f : frecuencia (salida del variador, visualizada en el display)

p : número de pares de polo

40: relación de transmisión del reductor de velocidad

Velocidad lineal

$$v = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \cdot r$$

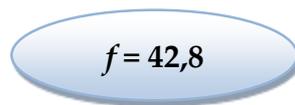
Siendo

r : radio de giro de la cinta

$r = 3 \text{ cm}$

De este modo

$$f = \frac{v \cdot 40}{\pi \cdot 3}$$



$$f = 42,8$$

f : Parámetro de diseño. La Frecuencia será fijada en la salida del variador. Con esta frecuencia circulará la cinta para obtener una dosis de 4 kJ/m^2 .

Incremento de temperatura

Un incremento de temperatura provoca una disminución de la calidad del fruto, por lo tanto es necesario evaluar el mismo durante el proceso propuesto. Para conocer la evolución de la temperatura en el interior de la cámara próxima a la cinta, se hizo un registro, ensayando con distintas coberturas.

Sin irradiación $T_{amb} = 25,8^\circ \text{ C}$

$T_{interior \text{ arándanos}} = 25,3^\circ \text{ C}$

En la tabla 5.2 se observa las temperaturas evaluadas en el prototipo y en el fruto ensayando con distintas coberturas.

Tabla 5.2. Registro de temperatura en el interior del prototipo y en el fruto.

Tiempo [min]	Temperatura [°C] Cobertura: Madera	Temperatura [°C] Cobertura: Madera, poliestireno y plásticonegro	Temperatura [°C] en el interior de arándanos Cobertura: Madera	Temperatura [°C] Cobertura: Madera, poliestireno y plástico negro, en el interior de los arándanos
1	25,8	25,8	25,3	25,3
5	25,8	25,8	25,3	25,3
7	25,8	25,8	25,3	25,3
10	25,9	25,9	25,4	25,4
15	25,9	25,9	25,4	25,6
20	25,9	26	25,5	25,6
25	26	26	25,6	25,7
30	26,1	26,1	25,7	25,8

Puede concluirse la inexistencia de incremento de temperatura durante los distintos ensayos usando las coberturas propuestas.

5.6 Utilización del equipo de aplicación de método

Se investigó la eficacia del diseño del prototipo construido y los beneficios del método de conservación propuesto teniendo en cuenta los atributos de calidad definidos y descriptos en el protocolo RESOLUCIÓN SAGPYA N° 201/2007 que deben cumplir las empresas o productores de arándanos que estén interesados en obtener el derecho de uso del Sello “ALIMENTOS ARGENTINOS UNA ELECCIÓN NATURAL”.

Los atributos diferenciadores para arándanos surgen de la información aportada, por referentes del sector público y privado. Este protocolo puede ser utilizado para los productos que se comercializan tanto en el mercado doméstico como en los de exportación.

Entre las características que debe tener el producto para ser considerado de calidad diferenciada se encuentran preservar el fruto desde la cosecha, respetar

las condiciones sanitarias establecidas y alcanzar las características sensoriales de los arándanos frescos,. Además para la producción y acondicionamiento de los arándanos frescos se ha optado por el cumplimiento de Buenas Prácticas Agrícolas y de Manejo en cosecha tomando como referencia la Resolución SENASA N° 510/2002 “Guía de Buenas Prácticas de Higiene, Agrícolas y de Manufactura para producción primaria -cultivo-cosecha-, acondicionamiento, empaque, almacenamiento y transporte de frutas frescas” y la implementación de Buenas Prácticas de Manufactura en el proceso de empaque (Resolución SAGPyA N° 48/98). Por otro lado, las condiciones de almacenamiento y transporte deberán ser adecuadas para evitar la alteración de la fruta.

Atributos diferenciadores de producto

Variedad Los arándanos pueden ser de cualquiera de las variedades cultivadas en nuestro país pertenecientes al género Vaccinium.

Propiedades físicas y químicas

a) Requisitos mínimos Las condiciones mínimas que cada fruto debe reunir son:

- bien desarrollado
- sano
- no poseer olores y/o sabores extraños
- estar en un estado de madurez apropiado según el color, contenido de azúcares y consistencia adecuada.
- libre de manchas, lesiones o heridas
- libre de machucamiento
- sin podredumbre

b) Requisitos de calidad diferenciada Madurez

Está determinada por:

- Color exterior del fruto: deberá ser el característico en el 100 % de la superficie

en destino. No se admitirán coloraciones verdosas.

- Contenido de azúcares: mínimo 7 ° Brix, determinado refractométricamente.
- Consistencia: condición de fruta firme al tacto (coincide con el estado de la coloración). Cera natural (bloom) Como mínimo el 90 % de la superficie de la fruta debe contener cera natural, determinada visualmente.

Tolerancia de defectos

- Arándanos en pudrición: ausencia, determinada visualmente.
- Arándanos dañados (aplastados, chorreados): menos del 2 % en bandeja, determinado visualmente.
- Arándanos cicatrizados (provenientes de rameos, daños por pájaros, heridas): menos del 4 % en bandeja, determinados visualmente.
- Presencia de pedicelos: ausencia. Se determina visualmente.
- Rasgos de deshidratación: ausencia. Se determina visualmente.

Tamaño de frutos: Calibres según el máximo diámetro ecuatorial [mm]:

- Entre 9 a 12
- Mayor a 12

Tolerancia en tamaño: se admitirá un 5 % por bandeja de frutos de tamaños dispares.

Peso: La tolerancia será +/- 3 % del peso neto especificado en el envase.

Materias extrañas No se aceptará la presencia de ninguna materia extraña (polvo, hojas, piedras, insectos, pelos, entre otras).

Es relevante cumplir con los requisitos del protocolo para un producto de calidad. Se usará el prototipo construido para irradiar los arándanos y ver la eficacia del equipo evaluando parámetros característicos tanto en el fruto control como en el irradiado. Se evaluó color en fruto completo, espectro UV-V, diámetro ecuatorial, pérdida de peso, sólidos solubles, y dureza a los 0, 7 y 14 días posteriores.

5.6.1 Materiales y métodos

Se utilizaron muestras de arándanos recién cosechadas durante finales de agosto, que fueron cedidas por Packing Tierra de Arándanos, ubicado en la localidad de Orán, Monteros de la provincia de Tucumán.

Tras la cosecha tiene lugar una pérdida de calidad a velocidad considerable, asociada con un excesivo ablandamiento, pérdida de sabor y de color. Estos cambios son provocados fundamentalmente por la temperatura. Para reducir el deterioro postcosecha, los frutos inmediatamente recolectados fueron colocados en bandejas de polietilentereftalato (clamshells) y almacenados a $(4,0 \pm 0,5) ^\circ\text{C}$ hasta ser transportados al laboratorio, donde fueron sometidos a ensayo inmediatamente.

Los arándanos recibidos se dividieron en 3 muestras, cada una contenía 80 frutos. Una de ellas sirvió de testigo y a las 2 restantes se les aplicó diferentes dosis de radiación, cada muestra fue dividida en 4 lotes:

1. Muestra Control, fruta natural entera (FCN) en el tiempo 0. (MC)
2. Muestra de fruta entera irradiada en el prototipo. Dosis: 4 kJ/m^2
3. Muestra de fruta entera irradiada en el prototipo. Dosis: 2 kJ/m^2

En la figura 5.16 puede observarse el interior del prototipo.

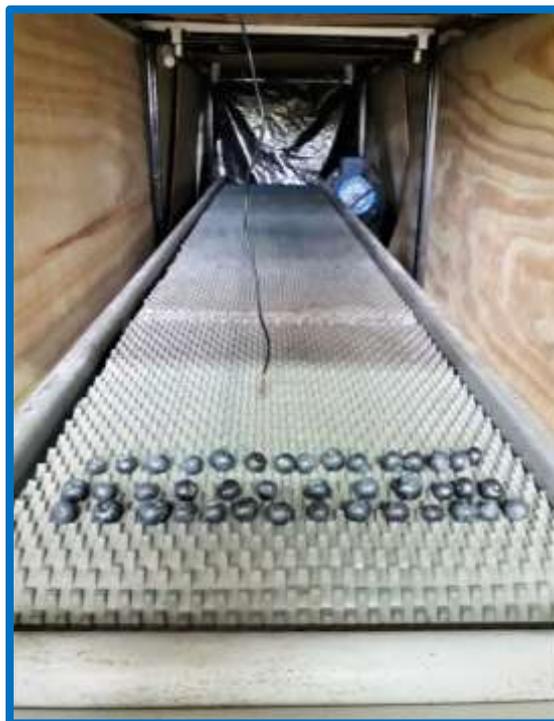


Fig. 5.16. Foto del interior del prototipo antes de irradiar los arándanos.

Todas las muestras, tanto control como irradiadas, se almacenaron a 4 °C y 70 % de humedad en oscuridad. A cada muestra se le evaluó color en fruto completo, espectro UV-Vis, diámetro ecuatorial, pérdida de peso, sólidos solubles, y dureza a los 0, 7 y 14 días posteriores.

En todos los casos se mantuvieron idénticas las condiciones de Presión y Temperatura de las muestras y en las aplicaciones de radiación se conservó la cantidad de muestra y la geometría de la celda de aplicación.

Pérdida de peso

La pérdida de peso (PP) de los frutos de arándano fresco y tratados se evaluó midiendo el peso de los mismos en el día 0, 7 y 14 de almacenamiento. Se uso una balanza analítica con precisión de $\pm 0,01$ g. Se evaluó la PP en 18 frutos en cada tanda y para cada condición.

Los resultados fueron expresados como porcentaje de variación de peso con respecto al de la muestra fresca en el día 0, según la siguiente ecuación:

$$PP(\%) = \frac{(p_0 - p_t)}{p_0} \cdot 100 \quad (\text{ec. 5.3})$$

Donde:

PP (%) = porcentaje de pérdida de peso de la muestra; p_0 = peso inicial de la muestra al día 0, p_t = peso de la muestra a un tiempo t .

Diámetro promedio ecuatorial (mm): Se obtuvo un promedio a partir del diámetro ecuatorial de 20 frutos de cada tanda cosechados por tratamiento. La medición se realizó en forma manual con un calibre de escala dual en mm/pulgadas Stanley.

En la figura 5.17 puede observarse el diámetro ecuatorial y polar considerado en el fruto arándano.

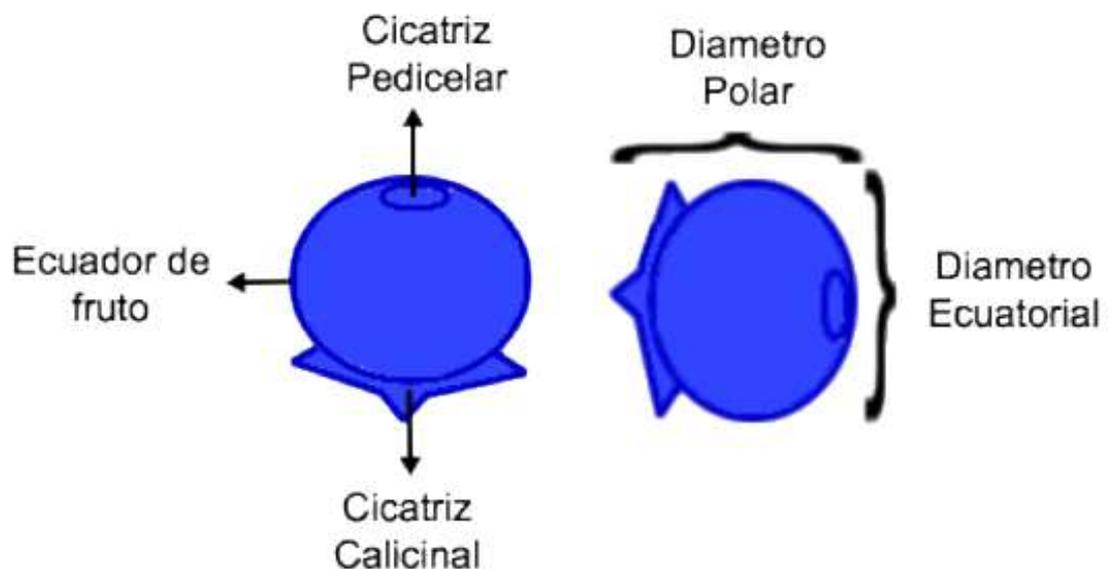


Figura 5.17. Representación esquemática y terminología utilizada en fruto de arándano.

Dureza:

Se obtuvo un promedio a partir de la dureza de 20 frutos de cada tanda cosechados y por tratamiento. La medición se realizó en forma manual utilizando un esclerómetro penetrómetro de frutas GY-03 con 2 Cabezales de Medición.



Fig. 5.18. Esclerómetro-penetrómetro utilizado para medir dureza

Sólidos solubles (°Brix):

Se determinó a partir del zumo de 20 frutos cada tanda cosechados y por tratamiento, usando para ello un refractómetro manual termocompensado (Carl Zeiss). Se realizó 3 mediciones por muestra, sacando un promedio de los grados Brix.

Espectro UV-Visible

Los espectros se realizaron en el rango de 200 a 1100 nm con un espectrofotómetro HITACHI U-1900 en cubetas de cuarzo de 10 mm de espesor con velocidad de registro de 400 nm/min.

Color superficial

La coloración superficial de los arándanos es uno de los parámetros de calidad comercial que determina la aceptación por parte del consumidor siendo deseable que la fruta presente una coloración azul homogénea en toda su superficie

(Defilippi et al., 2013; SAGPYA, 2015). El color de la epidermis va variando a medida que madura el fruto y se intensifica hacia el final de la maduración (Godoy, 2004).

El sistema CIE-L*a*b* es empleado frecuentemente como un método versátil y fiable para evaluar el color de frutas y hortalizas, así como también los cambios ocurridos durante su maduración, procesamiento, almacenamiento, etc.

El color superficial de los frutos de arándano de los distintos lotes (frutos testigos y con irradiación UV-C) se determinó realizando 1 medición por fruto y evaluando 6 frutos por muestra de cada tanda, a los 0, 7 y 14 días; con el espectrorradiómetro Photo Research PR715, con una apertura de medida de 1,1 cm de diámetro, iluminante D65 y un ángulo de observación de 2°, en la escala de color CIELab previamente calibrado.

A partir del espectro de reflexión de las muestras se obtuvieron las coordenadas rectangulares CIE-L*a*b*, donde L* es la luminosidad (0, negro; 100, blanco), el parámetro a* indica color verde (-) a rojo (+), mientras que b* varía desde el azul (-) al amarillo. Finalmente, se obtuvieron las coordenadas H*y C*.

h*: es el tono, tinte, matriz, color, "HUE". Es otra cualidad primaria caracterizada por la longitud de onda de la radiación. Es lo que hace diferente un color de otro
C*: llamada cromaticidad, es la saturación, intensidad, pureza, "CROMA". Es la tercera cualidad primaria que define la intensidad o pureza espectral del color que va de los tonos grises, pálidos, apagados a los más fuertes y vivos.

En la figura 5.19 las coordenadas L*,a*, b*,C* y h*.

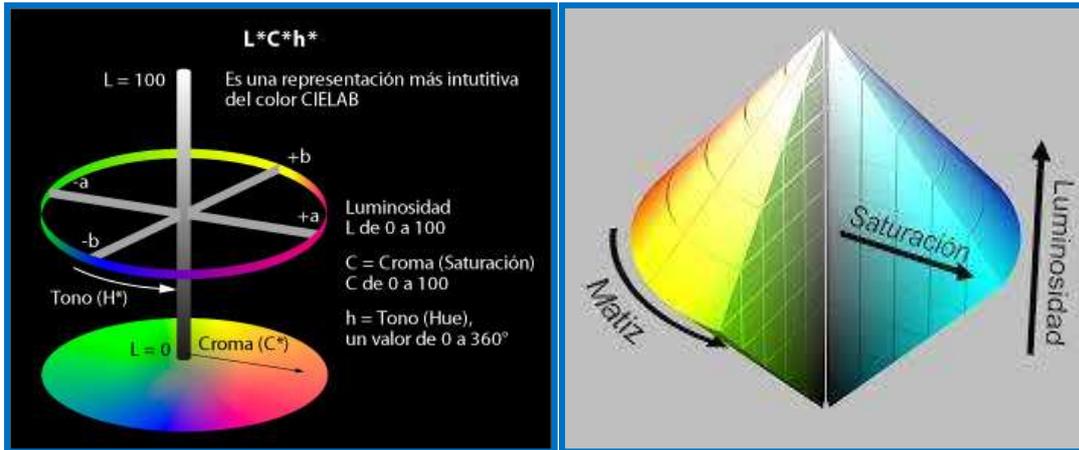


Fig. 5.19. Representación del color por el sistema CIELab

Determinación de UFC (Hongos):

Se realizó por el método de siembra en superficie en el medio Sabouraud Glucosado AGAR (Britania), e incubando a 28 °C por 5 días bajo condiciones aeróbicas. Composición del medio (en gramos por litro), peptona 5.0, tripteína 5.0, glucosa 40.0, cloranfenicol 0,05 y Agar 15.0. pH final 5,6±0.2 a 25 °C. (Hare, 2013).

Diseño experimental y análisis estadístico

Los resultados obtenidos se analizaron estadísticamente mediante el software InfoStat mediante análisis de varianza (ANOVA). La comparación de medias se realizó mediante el Test de Mínima Diferencia de Fisher (LSD) con un nivel de confianza del 95 %.

5.6.2 Resultados

Peso promedio de los frutos

La pérdida de peso de las diferentes muestras no fue significativamente diferentes ($p > 0,5$). Se observa que la pérdida de peso fue incrementándose gradualmente con el tiempo de almacenamiento tanto en la muestra control como en las irradiadas a distintas dosis. (Figura 5.20).

La tabla 5.3 muestra los resultados promedio de PP (%), indicando que a los 7

días de almacenamiento a 4 °C, la muestra Irradiada M1 registró la menor pérdida de peso con solo 4,56 %, manteniéndose la tendencia a los 14 días en donde la pérdida de peso respecto al tiempo inicial fue 8,40 %. Rivera et al (2007), determinó que la pared y membrana celular del fruto absorben energía en el rango de UV-C, afectando su estabilidad de manera positiva.

Tabla 5.3. Valores promedio de la PP (%) de arándanos expuestos a distintas dosis de radiación UV-C y almacenados a 4 °C durante 7 y 14 días.

Muestra	Tiempo de almacenamiento (días)	
	7	14
control	5 ± 1 a	11 ± 1 a
Irrad M1	5 ± 2 a	8 ± 1 a
Irrad M2	5 ± 1 a	10 ± 1 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,5$). Test (LSD Fisher)

Para evitar las pérdidas por deterioro de la fruta en postcosecha, es indispensable la aplicación de pre-frío rápido a la fruta después de cosechada (Sudzuki, 1983), de esta manera se evitan altas pérdidas postcosecha del fruto, que se arrugue la epidermis y ablandamiento por pérdida de agua, incluso mostrando una textura adecuada hasta 9 días a 4 °C y 80 % HR.

En la figura 5.20 representa los resultados obtenidos a partir de las mediciones.

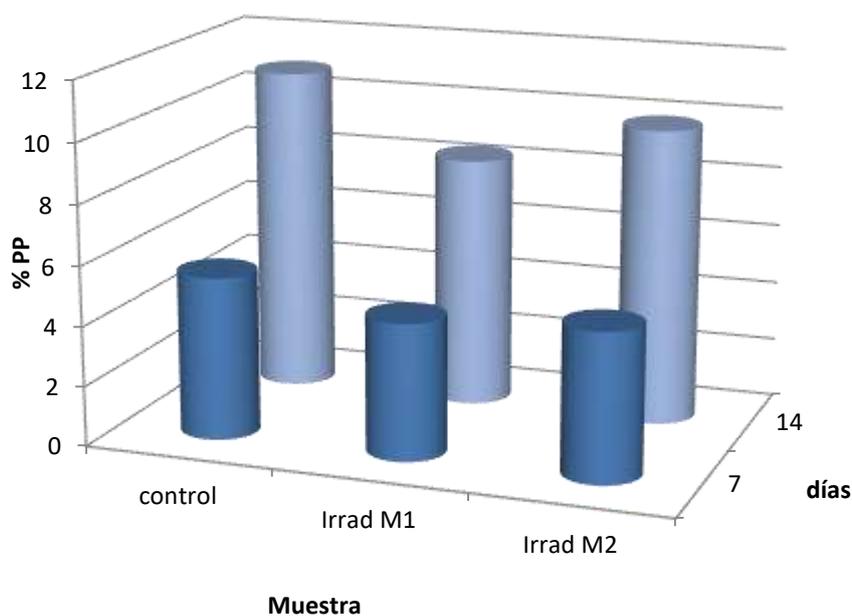


Figura 5.20. Valores promedio de la PP (%) de arándanos expuestos a distintas dosis de radiación UV-C y almacenados a 4 °C durante 7 y 14 días.

Diámetro ecuatorial

El diámetro ecuatorial del fruto arándano no varió significativamente ($P < 0,05$) con los distintos tratamientos como se observa en la tabla 5.4, obteniéndose un mayor diámetro ecuatorial en el tratamiento a una dosis de 4 kJ/m², el menor diámetro ecuatorial se obtuvo en la muestra control. Esta tendencia se mantuvo con el tiempo de almacenamiento.

Es notable la importancia de la pérdida de diámetro con el tiempo de almacenamiento como lo muestra la tabla 5.4 y la figura 5.21.

Tabla 5.4. Efecto del tratamiento a distintas dosis sobre el diámetro ecuatorial en arándanos empleando el prototipo propuesto.

Muestra	Tiempo de almacenamiento (días)		
	0	7	14
Control	15,39 ± 0,02 a	14,8 ± 0,5 a	14,3 ± 0,3 a
Irrad M1	15,7 ± 0,5 a	15,2 ± 0,8 a	14,8 ± 0,5 a
Irrad M2	15,5 ± 0,5 a	14,9 ± 0,6 a	14,4 ± 0,5 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,5$). Test (LSD Fisher)

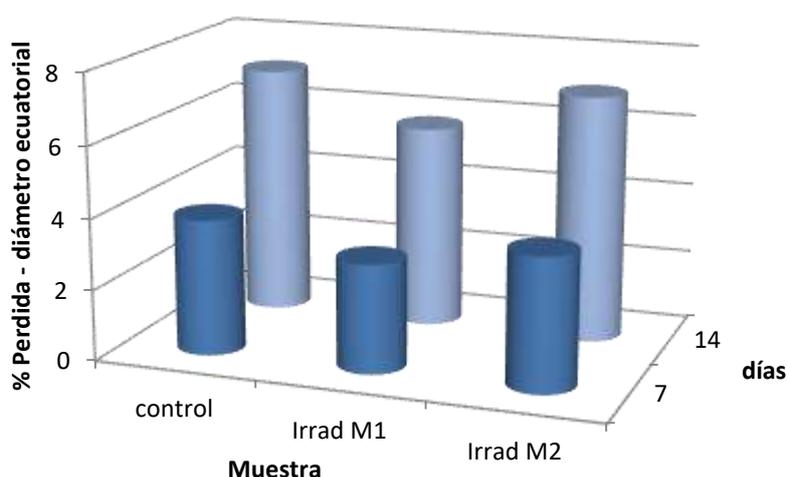


Fig. 5.21. Efecto del tratamiento a distintas dosis sobre el diámetro ecuatorial en arándanos empleando el prototipo propuesto.

Dependiendo de la especie y cultivar, el diámetro ecuatorial puede variar entre 0,7 a 1,5 cm (Buzeta, 1997) lo cual coincide con los resultados observados.

El protocolo de calidad para arándanos frescos (actualizada 2015) considera como requisito de calidad diferenciada calibres según el máximo diámetro ecuatorial (expresado en mm) entre 9 a 12 mm y mayor a 12mm los cuales serán

considerados para exportación. Los diámetros medidos en las distintas muestras cumplen con este requisito de exportación.

Sólidos solubles

Los distintos tratamientos no afectaron significativamente el porcentaje de sólidos solubles ($p>0,5$) respecto a la muestra control, como se observa en la tabla 5.5. Con el tiempo de almacenamiento hubo un leve incremento en todas las muestras a los 7 días y luego una disminución a los 14 días, alcanzado la muestra sometida a baja dosis de irradiación el mayor valor.

Tabla 5.5. Contenido de sólidos solubles totales ($^{\circ}$ Brix) en frutos de arándano a los 0, 7 y 14 días de almacenamiento.

Muestra	Tiempo de almacenamiento (días)		
	0	7	14
Control	14,98 \pm 0,04 a	18,56 \pm 0,05 a	15,92 \pm 0,04b
Irrad M1	14,96 \pm 0,05a	17,8 \pm 0,2 b	16,1 \pm 0,3 b
Irrad M2	15,00 \pm 0,01 a	18,7 \pm 0,3 a	17,8 \pm 0,2 ^a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0,5$). Test (LSD).

En la figura 5.22 se muestran los resultados obtenidos de Contenido de sólidos solubles totales ($^{\circ}$ Brix) en frutos de arándano a los 0, 7 y 14 días de almacenamiento a partir de las mediciones en fruto control e irradiado a distintas dosis.

El protocolo de calidad para exportación de arándanos considera como requisitos de calidad diferenciada a la madurez determinada por: Contenido de azúcares: mínimo 7 $^{\circ}$ Brix, determinado refractométricamente.

En consideración de los valores mostrados en la figura 5.22, ambos tratamiento exceden ese valor mínimo.

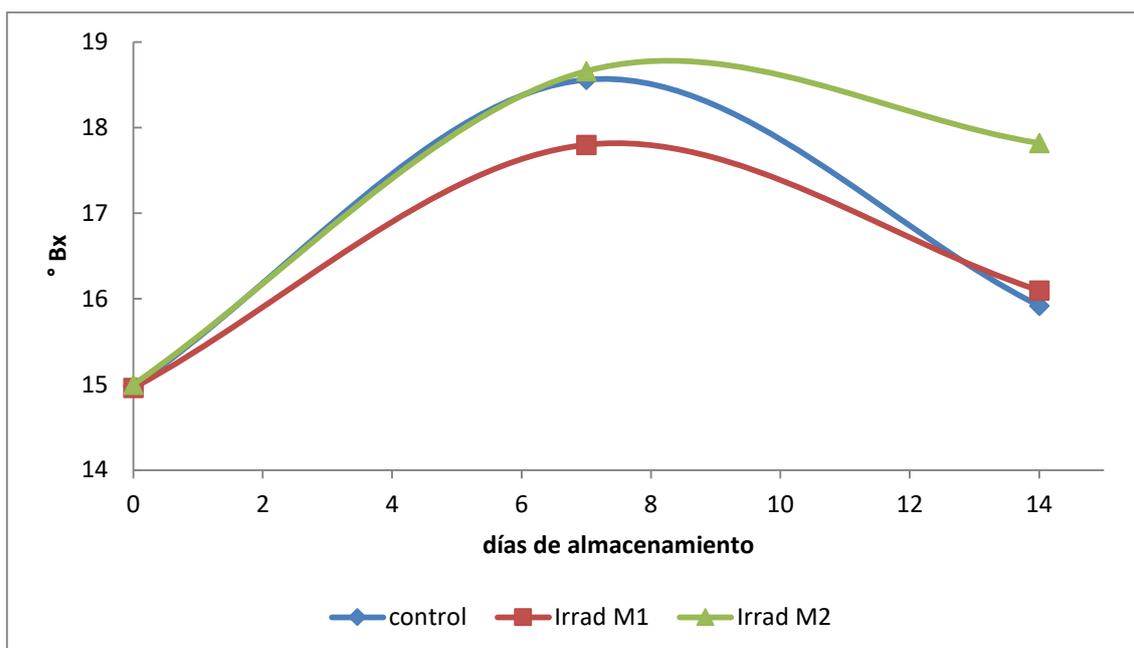


Fig. 5.22. Contenido de sólidos solubles totales (°Brix) en frutos de arándano a los 0, 7 y 14 días de almacenamiento.

Mendoza Alván (2014) determinó que los arándanos tratados con radiación UV-C a 2 kJ m^{-2} redujeron el contenido de sólidos solubles con relación a la materia prima, a diferencia de lo determinado en este trabajo.

Dureza

El protocolo de calidad de exportación de arándanos frescos plantea que la consistencia en arándanos frescos es una condición de fruta firme al tacto, sin más especificaciones.

En la Tabla 5.6 se pueden ver los valores de dureza para arándanos sometidos a distintos tratamientos en el prototipo.

Los distintos tratamientos no afectaron significativamente la dureza de los arándanos ($p > 0,5$) respecto a la muestra control.

Tabla 5.6. Efecto del tratamiento a distintas dosis sobre la dureza en arándanos empleando el prototipo propuesto.

Muestra	Tiempo de almacenamiento (días)		
	0	7	14
Control	0,84 ± 0,05 a	0,72 ± 0,04 a	0,62 ± 0,04 a
Irrad M1	0,84 ± 0,05 a	0,78 ± 0,04 a	0,74 ± 0,05 a
Irrad M2	0,86 ± 0,05 a	0,78 ± 0,04 a	0,68 ± 0,04 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,5$). Test (LSD Fisher)

En la figura 5.23 se observa la pérdida de dureza en las distintas muestras a los 7 y 14 días de almacenamiento. Mostrando claramente que la muestra no tratada fue la que mayor pérdida obtuvo tanto a los 7 días como a los 14 días

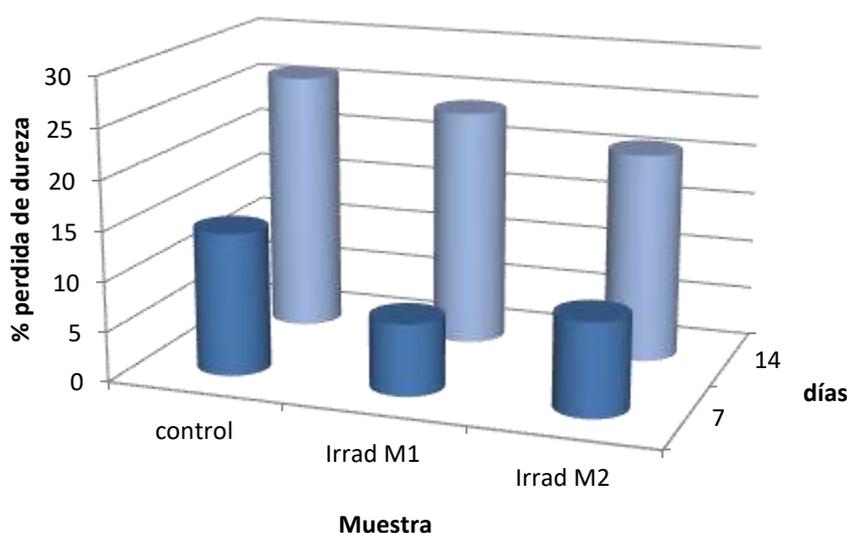


Fig. 5.23. Efecto del tratamiento a distintas dosis sobre la dureza en arándanos empleando el prototipo propuesto.

La pared celular de la fruta va cambiando la textura de ésta, haciéndola cada vez más blanda a medida que madura. Esto se puede medir a través de funciones

como fuerza, tiempo y distancia (Bourne, 1980). Una baya firme es signo de fresca 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 (Vargas et al, 2001).

Espectros UV-Vis

En la figuras 5.24, 5.25 y 5.26 se observan los espectros UV-Vis a 0, 7 y 14 días de Muestra control, tratada con UV-C ($D=4 \text{ kJ/m}^2$) y tratada con UV-C ($D=2 \text{ kJ/m}^2$). Se puede apreciar poco cambio de la concentración respecto de la muestra control con ambos métodos de irradiación, indicando que la misma produjo algún efecto leve sobre los frutos tratados.

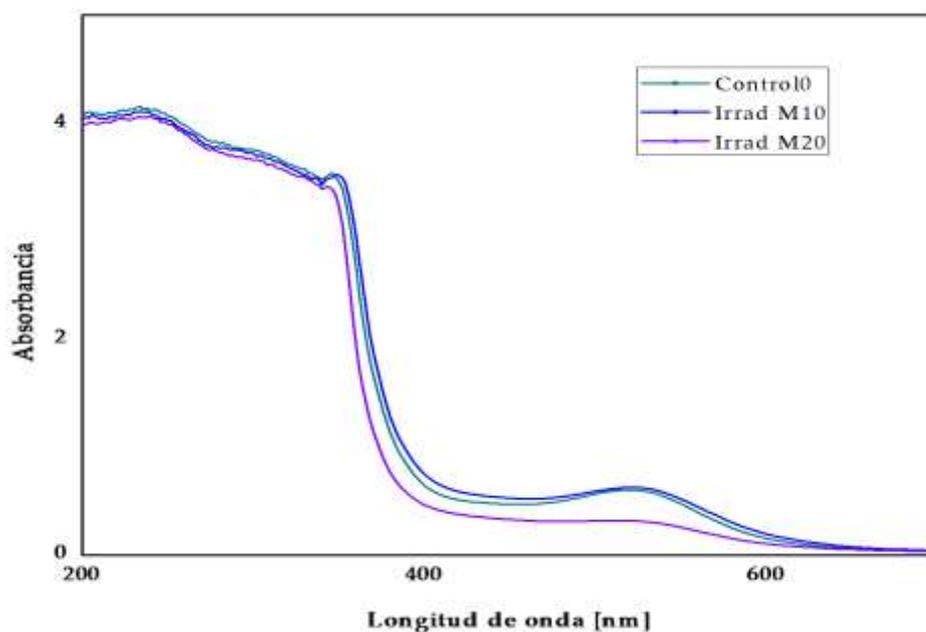


Fig. 5.25. Espectros UV-Vis a 0 días: Muestra control, tratada con UV-C ($D=4 \text{ kJ/m}^2$) Y tratada con UV-C ($D=2 \text{ kJ/m}^2$)

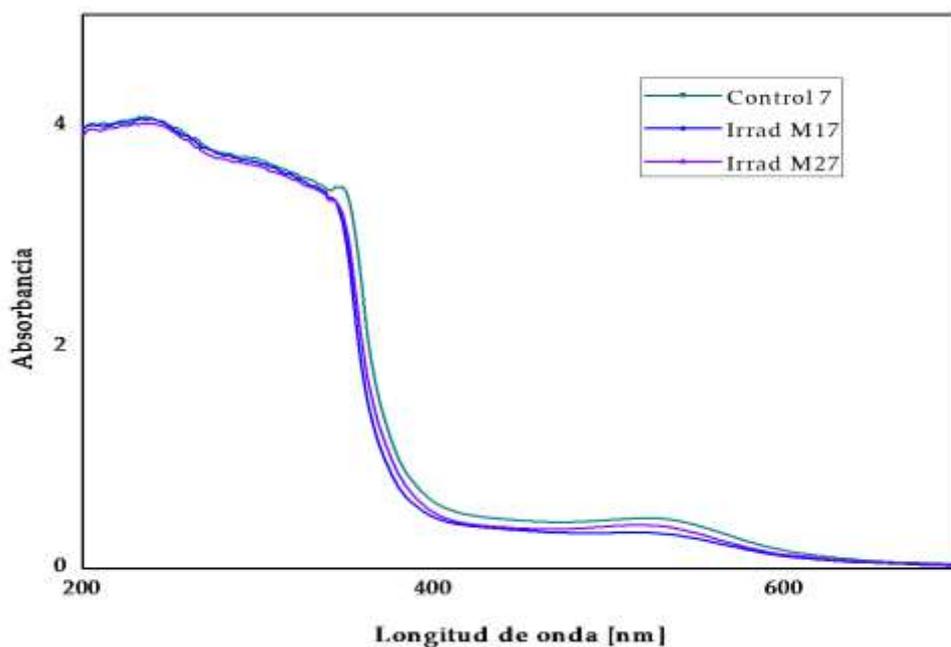


Fig.5.25. Espectros UV-Vis a 7 días: Muestra control, tratada con UV-C ($D=4 \text{ kJ/m}^2$) Y tratada con UV-C ($D=2 \text{ kJ/m}^2$)

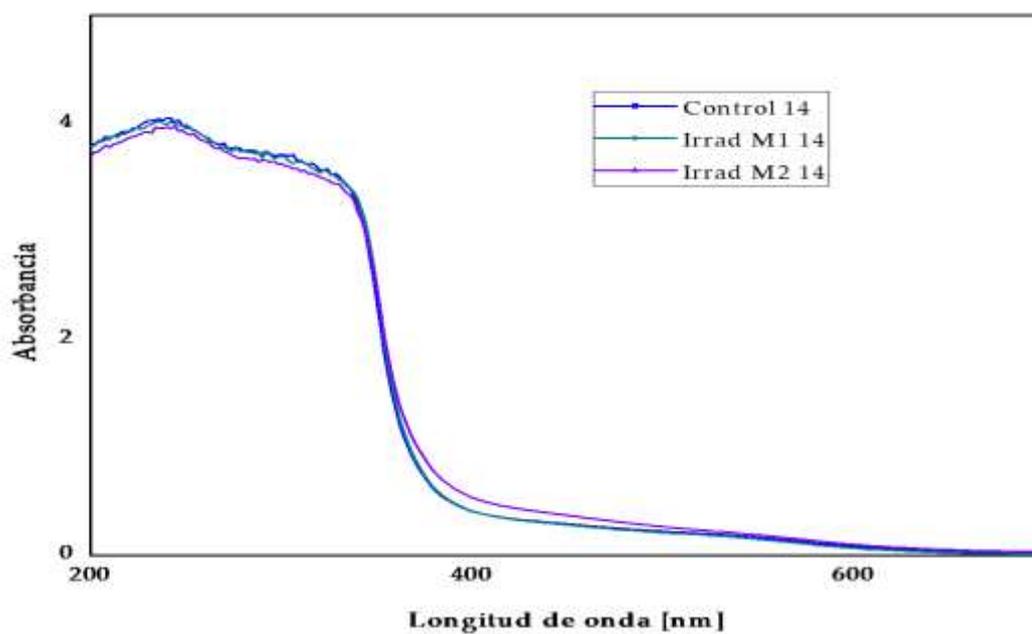


Fig. 5.26. Espectros UV-Vis a 14 días: Muestra control, tratada con UV-C ($D=4 \text{ kJ/m}^2$) Y tratada con UV-C ($D=2 \text{ kJ/m}^2$).

Como se puede apreciar en la figuras 5.24, 5.25, 5.26 y 5.27 a medida que pasan los días la concentración de compuestos disminuye paulatinamente en la muestra

no tratada, mientras que en las sometidas a tratamiento de conservación a medida que pasan los días la concentración de compuestos se mantiene prácticamente en valores muy cercanos a la muestra control.

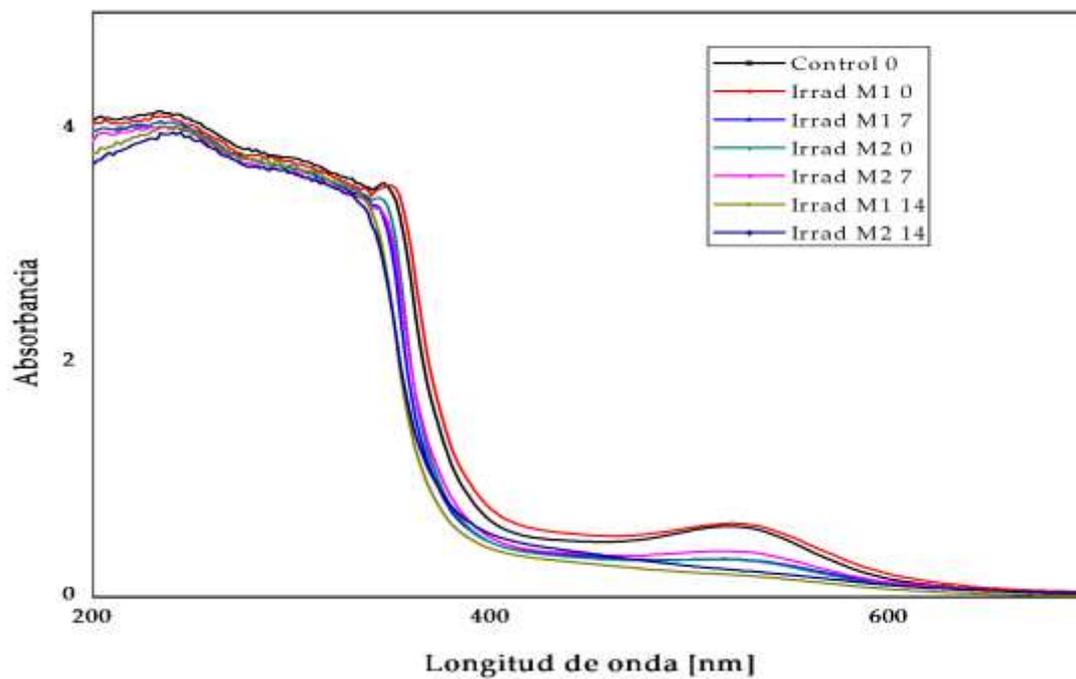


Fig. 5.27. Espectros UV-Vis: Muestra control a 0 días, tratada con UV-C ($D=4 \text{ kJ/m}^2$) Y tratada con UV-C ($D=2 \text{ kJ/m}^2$) a 0, 7 y 14 días.

Color superficial

El protocolo de calidad de exportación de arándanos frescos plantea que uno de los requisitos de calidad diferenciada para madurez está determinada por el color exterior del fruto el cual deberá ser el característico en el 100 % de la superficie en destino. No se admitirán coloraciones verdosas.

Las muestras tratadas en el prototipo presentaron un color similar a la muestra control tanto el día cero como a los 7 y 14 días de almacenamiento. Inmediatamente después de la aplicación del tratamiento, la luminosidad L^* , los parámetros a^* , b^* ($b^* < 0$, representa el tono azul) y la cromaticidad C^* de los arándanos tratados presentaron valores similares a la muestra testigo. Rodoni y otros (2015) no encontraron diferencias en la luminosidad y el tono (L^* y h_{ab}) de

pimientos frescos cortados por efecto de la radiación UV-C. Ortiz Araque y otros (2018), tampoco encontraron diferencias en el tono de las frutillas antes y después del tratamiento con radiación UV-C, pero sí una reducción en L*.

Tabla 5.7: Parámetro de color L* luminosidad en muestra de fruto completo arándano control y tratados en el prototipo con UVC a 0, 7 y 14 días de almacenamiento.

Muestra	Tiempo de almacenamiento (días)		
	0	7	14
	L*		
Control	29 ± 1 ab	27 ± 1 bc	29 ± 5 ab
Irrad M1	30 ± 1, a	28,9 ± 0,9abc	26 ± 1 c
Irrad M2	28 ± 1 abc	27 ± 1 bc	26 ± 1 c

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,5$). Test (LSD Fisher)

En la figura 5.28 se muestran los resultados obtenidos a partir de las mediciones en fruto control e irradiado a distintas dosis.

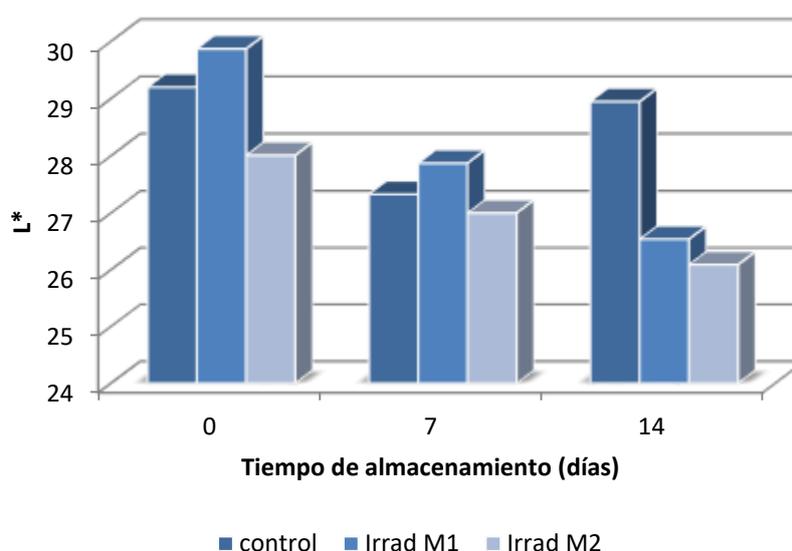


Fig. 5.28. Parámetro de color L* luminosidad en muestra de fruto completo arándanos control y tratados en el prototipo con UVC a 0, 7 y 14 días de almacenamiento.

En la tabla 5.8 se observa el parámetro de cromaticidad a^* a partir de las mediciones en fruto control e irradiado a distintas dosis.

Tabla 5.8: Parámetro de cromaticidad a^* en muestra de fruto completo arándanos control y tratados en el prototipo con UV-C a 0, 7 y 14 días de almacenamiento

Muestra	Tiempo de almacenamiento (días)		
	0	7	14
	a^*		
Control	1,5 ± 0,3 ab	1,6 ± 0,5 ab	1,5 ± 0,3 ab
Irrad M1	1,4 ± 0,1 b	1,5 ± 0,2 ab	1,4 ± 0,2 ab
Irrad M2	1,5 ± 0,2 ab	1,8 ± 0,4 a	1,7 ± 0,3 ab

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,5$). Test (LSD Fisher)

En la tabla 5.9 se observa el parámetro de cromaticidad b^* a partir de las mediciones en fruto control e irradiado a distintas dosis.

Tabla 5.9. Parámetro de cromaticidad b^* en muestra de fruto completo arándanos control y tratados en el prototipo con UV-C a 0, 7 y 14 días de almacenamiento

Muestra	Tiempo de almacenamiento (días)		
	0	7	14
	b^*		
Control	-7,8 ± 0,9 c	-7,1 ± 0,8 abc	-6 ± 1 a
Irrad M1	-7,6 ± 0,6 bc	-7,3 ± 0,8 abc	-6,7 ± 0,6 ab
Irrad M2	-7,2 ± 0,9 abc	-7,0 ± 0,8 abc	-6,6 ± 0,7 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,5$). Test (LSD Fisher)

Se observa que con el parámetro L^* la fruta es más opaca, con valor de a^* hay disminución en la tonalidad rojiza y con el valor de b^* mayor tonalidad azul, por lo que dichos valores de a^* y b^* tienden a ubicarse en el centro, que pertenece a tonos grises, estado en el cual predomina el color morado oscuro con predisposición al color negro manteniéndose para todas las muestras.

Tener en cuenta que la coloración del fruto influye en el contenido de

antocianinas obtenido, puesto que entre más oscura este la materia prima, más antocianinas hay presentes, debido a que estas son las encargadas de darle el pigmento al fruto.

Croma

En la tabla 5.10 se observa el parámetro C* a partir de las mediciones en fruto control e irradiado a distintas dosis.

Tabla 5.10: Parámetro de color croma C* en muestra de fruto completo arándanos control y tratados en el prototipo con UVC a 0, 7 y 14 días de almacenamiento

Muestra	Tiempo de almacenamiento (días)		
	0	7	14
	C*		
Control	8 ± 1 a	7,3 ± 0,7 abc	6 ± 1 c
Irrad M1	7,7 ± 0,6 ab	7,5 ± 0,8abc	6,9 ± 0,8bc
Irrad M2	7,3 ± 0,9abc	7,2 ± 0,8 abc	6,7 ± 0,6 bc

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,5$). Test (LSD Fisher)

En la figura 5.29 se representan los resultados del parámetro croma C* a partir de las mediciones en fruto control e irradiado a distintas dosis.

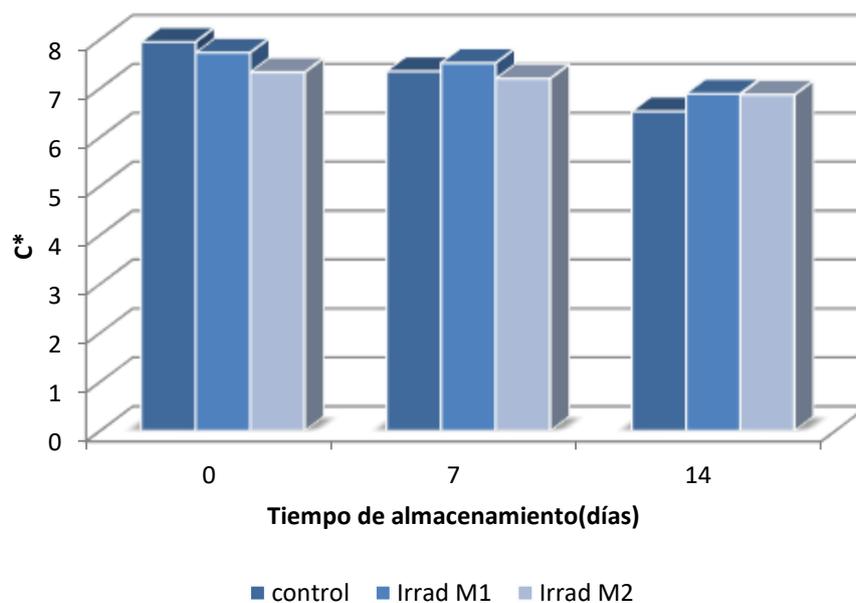


Fig. 5.29: Parámetro de color croma C* en muestra de fruto completo arándanos control y tratados en el prototipo con UV-C a 0, 7 y 14 días de almacenamiento

Hue

En la tabla 5.11 se observa el parámetro h^* a partir de las mediciones en fruto control e irradiado a distintas dosis.

Tabla 5.11: Parámetro de color h^* en muestra de fruto completo arándanos de control y tratados en el prototipo con UVC a 0, 7 y 14 días de almacenamiento

Muestra	Tiempo de almacenamiento (días)		
	0	7	14
	h^*		
Control	4,90 ± 0,03 b	4,94 ± 0,08 ab	4,94 ± 0,04 ab
Irrad M1	4,90 ± 0,01 b	4,92 ± 0,02 ab	4,92 ± 0,03 ab
Irrad M2	4,92 ± 0,03 ab	4,97 ± 0,05 a	4,97 ± 0,06 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,5$). Test (LSD Fisher)

En la figura 5.30 se representan los resultados del parámetro Hue h^* a partir de las mediciones en fruto control e irradiado a distintas dosis.

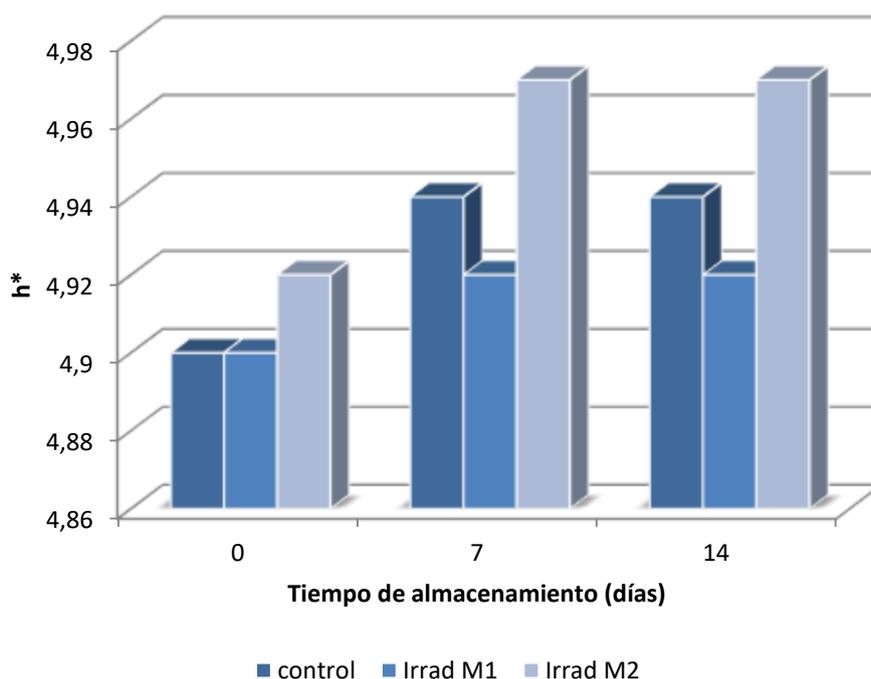


Fig. 5.30. Parámetro de color h^* en muestra de fruto completo arándanos control y tratados en el prototipo con UVC a 0,7 y 14 días de almacenamiento.

Recuento de UFC

En la tabla 5.12 se observa el recuento unidades formadoras de colonias para la muestra control fue superior al recuento en los frutos tratados 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

Tabla 5.12: Valores del contenido de unidades formadoras de colonias (hongos) en muestra control y tratadas a los 14 días.

Muestra	UFC /g de fruta
Control	1136
Irrad M1	491
Irrad M2	666

En condiciones de almacenamiento a baja temperatura (4 °C), los niveles de

incidencia de podredumbres por *A. tenuissima* y *Botrytis* spp. Se incrementaron en el tiempo (Velázquez y Farías, 2009).

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 et al., 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). 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.

Perkins-Veazie y otros (2008) estudiaron el efecto de la radiación UV-C en arándanos frescos entre 1, 2 y 4 kJ m⁻², determinando que la dosis con mayor efectividad fue la de 2 kJ m⁻² puesto que logra reducir eficazmente el *Colletotrichum acutatum*, syn. *C. gloeosporioides*, causante de antracnosis. Sin embargo, en otros productos se necesitaron dosis superiores. Es así, que una dosis entre 10 kJ m⁻² y 12,5 kJ m⁻² de radiación UV-C redujo los recuentos de mohos, levaduras y bacterias en carambolas frescas cortadas, y produjo una ligera reducción sobre pimiento fresco cortado (Moreno, et al., 2017; Rodoni, et al., 2015). El tratamiento resulta inefectivo sobre superficies con poca área superficial expuesta y/o porosas (Guerrero-Beltrán y Barbosa-Cánovas, 2004). Este tipo de tratamiento requiere que toda la superficie del objeto quede expuesta a la radiación UV-C durante un tiempo suficiente para que cualquier microorganismo presente pueda acumular la dosis letal, ya que la eficacia de la radiación UV-C depende de la estructura de la superficie o topografía,

presentando su limitación debido al efecto sombra (Kowalski, 2009).

5.6.3 Conclusión

En los ensayos realizados utilizando el prototipo propuesto para tratar arándanos mediante irradiación UV-C a distintas dosis se determinó que la muestra tratada con 4 kJ/m² indicó la menor pérdida de peso. El diámetro ecuatorial tuvo un comportamiento similar.

La aplicación de la radiación UV-C de mayor dosis afecta significativamente la reducción de las unidades formadoras de colonias a los 14 días de almacenamiento.

En cuanto a los atributos fisicoquímicos relacionados con la calidad sensorial, el tratamiento aplicado con radiación UV-C a distintas dosis no modificó significativamente el contenido de sólidos solubles, la firmeza y el color de los arándanos.

Los frutos irradiados y conservados a temperatura a 4 °C muestran un comportamiento tras varios días similar al de los frutos naturales a tiempo cero, manteniendo la madurez fisiológica y fenológica del fruto.

La aplicación de la irradiación UV-C (254 nm) en frutos arándanos es una alternativa potencial para obtener arándanos azules frescos de calidad microbiológica y sensorial aceptable, por lo que se puede ampliar y mejorar la forma de aplicación de la irradiación en el prototipo propuesto. Siendo este económico, versátil y sustentable.



CAPITULO 6:

Evaluación

Económica

6.1 Costos de construcción de prototipo

En la tabla 6.1 se detallan los materiales utilizados en la construcción del prototipo destinado a irradiación de los frutos arándanos y los costos.

Tabla 6.1. Materiales y costos del prototipo.

Material	Costos [US\$]
Tubo 15 w Germicida UV-C 253.5 nm M/ Bacterias Osram Hns T8. Cantidad: 2.	48,23
Caño estructural rectangular 20 X 40 X 1,2 mm barras de 6mts Costos: 3x2000	60,31
Plásticos intrínsecamente resistentes a la radiación UV	20,10

En la figura 6.1 se observa el prototipo construido e instalado en el laboratorio.



Fig. 6.1. Prototipo

Se puede considerar:***Cinta De Transporte Acero Inoxidable**

Compra: US\$ 1666, 60

Alquiler mensual: US\$ 340,76

Características

Estructura de acero inoxidable

Banda de goma de 19 cm de ancho

Largo de la cinta, 1,50 m

Altura 90 cm

***Convertidor de frecuencia**

Compra: US\$ 203,45

Características

Destinados para la variación y control de velocidad en motores de inducción trifásicos. Potencia disponible de 0,25 hasta 20 HP.

Presenta un diseño moderno siendo un producto compacto.

Utiliza técnicas de compensación del tiempo muerto, evita inestabilidad en el motor y posibilita el aumento de par en bajas velocidades.

Plástico de cobertura*Característica**

Intrínsecamente resistentes a la radiación UV Sin cambios de aspecto, como:

- Amarilleamiento de la superficie
- Decoloración de la superficie con cambio de tono
- Crazing
- Lixiviación de los plásticos teñidos

- Aumento de la fragilidad debido a pérdida de propiedades
- Disminución de la resistencia, elasticidad y dureza
- Aparición de grietas de esfuerzo

6.2 Análisis Económico

El cultivo y posterior comercialización de arándano representa un gran atractivo y está siendo fuertemente demandado por nuevos mercados y nuevos consumidores en todo el mundo. Al evidenciar un alza sostenida de crecimiento, muchos productores destinan gran cantidad de hectáreas a la producción, siendo una de las grandes ventajas competitivas frente a la oferta de otros países productores de Sur América.

Por lo tanto, las previsiones con respecto al mercado son muy positivas. Sólo en Europa, se estima que el consumo del arándano se incrementará en un 7 % cada año durante los 5 próximos años. Se prevé que la producción mundial en el año 2021 crezca un 38 %, hasta alcanzar las 904.000 toneladas. Actualmente, esta producción se sitúa en 657.000 toneladas. Siendo EE. UU, Chile, Argentina, Canadá y España los exportadores más importantes a nivel mundial.

Se observa que la demanda externa no responde demasiado a cuestiones de precio, sino de calidad, cantidad, y disponibilidad. Esto se debe a que gran parte de los consumidores finales se encuentran distantes (EE.UU., Europa) por lo cual la fruta debe mantener su integridad y calidad por un período prolongado, siendo la etapa de poscosecha, en la producción de arándano, un punto clave.

En cuanto a las exportaciones argentinas, el principal cliente resulta ser EEUU seguido por Alemania, Reino Unido, Canadá y finalmente Japón (este último con una demanda baja y decreciente en los últimos tres años).

Por otro lado el precio del kg de arándano en el mercado internacional (a valor FOB) muestra un leve crecimiento temporada tras temporada, sin embargo puede apreciarse un comportamiento cíclico, que ocurre cada 2 años aproximadamente haciendo que el precio suba y luego vuelva a bajar.

Actualmente el arándano se encuentra en la etapa de crecimiento/madurez.

Son diversos los factores que afectan a estas producciones, y es complicado lograr que mejoren y no afecten la competitividad.

La misma está definida por una serie de factores como color, firmeza, ausencia de daños, balance dulzor/acidez y aroma. Existe una gran gama de variedades que hoy son cultivadas a nivel comercial que pueden diferenciarse en muchos aspectos, incluyendo hábitos de crecimiento, fecha de producción, sabor, entre otros.

Todos los factores antes descritos hacen que los manejos de poscosecha deban orientarse principalmente al manejo de la temperatura y humedad relativa, buscando métodos de conservación que sean viables tanto económica como medio ambientalmente. Si bien la mejora de los precios compensa algunos costos que siguen en suba frente a un dólar fluctuante en nuestro País, existen puntos clave que podrían mejorar la industria del arándano.

Para ello se deben considerar costos relevantes:

-La Mano de Obra: representa cerca del 65 % de los costos de una explotación.

-Los acuerdos de libre comercio o aranceles: para poder ingresar a otros mercados. Siendo necesario lograr ventajas para las economías regionales frente a otros competidores.

-La logística marina: es imprevisible, provocando la búsqueda de otra logística a través de los puertos chilenos, resultando muy cara.

-La energía eléctrica: el costo aumenta cuánto más tecnología se aplica y aumenta la capacidad de frío. Además, paraproducción instalados en algunas regiones del país el costo de la electricidad triplica al que pagan sus pares de Corrientes o Santa Fe

Teniendo en cuenta lo anterior es que se propone la aplicación de esta tecnología.

A continuación un análisis FODA de la misma:

FORTALEZAS

Extensión de la vida útil poscosecha de arandanos. Es eficaz para la inactivación de muchos microorganismos

Menor efecto medioambiental (amigable con el medio ambiente), ya que es un método físico en el cual la energía del fotón es el medio germicida, sin generar productos secundarios indeseables. El tratamiento no produce residuos químicos ni de la aplicación de la radiación.

Fácil aplicación, bajo costo y mantenimiento.

Inversión baja

Adaptación fácil y versátil

No afecta el valor de los compuestos fenólicos totales, ni introduce compuestos nuevos.

Impide alteraciones microbiológicas y mantiene la calidad del fruto arándano.

Ahorro energético.

Investigaciones de los últimos años sugieren que esta tecnología tiene la capacidad de ser aplicada en alimentos sólidos y líquidos para la desinfección, ya que posee un potente efecto esterilizador sobre diferentes microorganismos. No produce alteraciones organolépticas en la mayor parte de los alimentos, y es efectivo para desinfección de diversas superficies.

DEBILIDADES

Nueva tecnología en la producción de arandanos por lo tanto se necesita una inversión en asesoramiento y capacitación del personal en materia de instalación, funcionamiento y seguridad e higiene del trabajo.

Obtención de un producto poco conocido y consumido.

Necesita ir acompañado de un proceso de frío.

Falta de certificaciones para exportación.

Dificultad en la determinación de las condiciones de operación óptimas, debido a la diversidad de especies.

OPORTUNIDADES

Cientes potenciales EEUU, Europa y Asia.

Posibilidad de producir y ofertar en contraestación.

Tendencia al consumo más limpio.

Producción más limpia.

Posible reemplazo de la exposición del fruto al proceso de bromuro de metilo por presencia de la mosca de la fruta.

Posibilidad de ofrecer productos semejantes a los frescos, acordes con las demandas actuales del mercado, sin perder sus garantías en materia de inocuidad.

Diversas industrias de alimentos y bebidas aplican la tecnología de desinfección por radiación UV en sus procesos de producción, y varias instituciones que llevan adelante investigaciones sobre el tema.

AMENAZAS

La producción convencional es muy bien aceptada.

Aceptación por parte de los productores.

Poco desarrollada a nivel industrial de equipos de irradiación UV.

Falta de concimiento dentro del sector.

6.3 Consideraciones ambientales

El SENASA en forma conjunta con el Aphis-USDA, controla la exportación en cuanto a la sanidad del producto y si se le realizó el bromurado (control mosca de la fruta), si el destino es EE.UU. Si todo está en regla se le coloca un sello de aprobación. De esta forma el producto está habilitado para la exportación.

El bromuro de metilo es un producto químico versátil: es penetrante y efectivo bajo un amplio rango de temperaturas y su acción biocida es segura, además de airearse en forma rápida. Es un fumigante, que ha sido usado comercialmente por más de 40 años para el control de hongos, bacterias, virus, insectos, ácaros, nemátodos y roedores. Además, tiene suficiente fitotoxicidad para controlar semillas y malezas en los suelos. Se utiliza tanto en fumigación de suelos, en tratamientos cuarentenarios o de productos almacenados, como para desinfección de estructuras. El abanico de cultivos y productos sobre los cuales se aplica es bastante extenso, y abarcativo de diferentes cadenas agroalimentarias y agroindustriales.

El bromuro de metilo tiene un impacto directo sobre la salud humana. Se trata de un gas inodoro, incoloro y sin sabor, que resulta imposible de detectar cuando se inhala a no ser que se encuentre mezclado con cloropicrina, un agente "alarma". Se trata de un gas altamente tóxico. La Agencia Ambiental Americana (EPA), por su lado, clasificó al bromuro de metilo como un producto "agudamente tóxico" en la Categoría I, reservada a las sustancias más peligrosas.

Otro efecto del bromuro de metilo es el de destruir la capa de ozono. Argentina, junto con otros 160 países, firmó el protocolo de Montreal en el que se comprometió a eliminar el uso de bromuro de metilo y otras sustancias que afectan la capa de ozono. Es necesario entonces buscar otras alternativas más apropiadas que el bromuro de metilo. Además, el tratamiento con bromuro de metilo acelera, luego del almacenamiento, el ablandamiento de los frutos.

En conclusión, la propuesta presentada podría ser una alternativa para el tratamiento dado que la irradiación UV ofrece varias ventajas a los procesadores de alimentos, ya que no deja residuos, no tiene restricciones legales, es fácil de usar, es letal para la mayoría de los tipos de microorganismos, y no requiere un equipo de seguridad complejo para ser implementado.



CAPITULO 7:

Conclusiones

Generales

7.1 Conclusiones Generales

El arándano representa un gran atractivo y está siendo fuertemente demandado por nuevos mercados y nuevos consumidores en todo el mundo, dado que forman parte de la marcada tendencia por el consumo de alimentos saludables.

Al evidenciar un alza sostenida de crecimiento, muchos productores de nuestro país destinan alrededor de 600 hectáreas a la producción, siendo una de las grandes ventajas competitivas frente a la oferta de otros países productores de Sur América. Por lo tanto, teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, las previsiones con respecto al mercado son muy positivas.

La etapa de poscosecha en la producción de arándano constituye un punto clave por el desafío de llegar con un producto de calidad, ya que los principales mercados consumidores se encuentran distantes (EE.UU., Europa) por lo cual la fruta debe mantener su integridad y calidad por un período prolongado.

La calidad está definida por una serie de factores como color, firmeza, ausencia de daños, balance dulzor/acidez y aroma. Existe una gran gama de variedades que hoy son cultivadas a nivel comercial que pueden diferenciarse en muchos aspectos, incluyendo hábitos de crecimiento, fecha de producción, sabor, entre otros.

Debido al pequeño tamaño de la fruta que se traduce en una mayor relación entre área superficial y volumen, los arándanos son más susceptibles a la pérdida de agua (o deshidratación) que frutas de mayor tamaño como manzana. Quizás una de las pocas ventajas prácticas de esta característica morfológica es el menor tiempo requerido para los procesos de enfriamiento. Por otro lado la epidermis (piel) de la fruta es delgada y muy susceptible a daño mecánico y pérdida de agua.

Los frutos estudiados contienen un alto contenido de agua, un contenido de fibra dietaria total del cual el porcentaje importante corresponde a la fibra dietaria insoluble y menor contenido de fibra dietética soluble. La presencia de valores considerables de cenizas indican la presencia de mayores contenidos de

minerales. La densidad, la viscosidad y el índice de refracción son función de la temperatura. Estas propiedades físicas disminuyeron con un aumento de la temperatura, dentro del rango de estudio.

La cáscara tiene una mayor cantidad de polifenoles así como una mayor capacidad de captura del radical DPPH en comparación con el jugo. El contenido de polifenoles totales muestra valores similares a los publicados en la literatura. Del análisis de HPLC se infiere que el jugo de arándanos posee, entre otras, las antocianinas: cianidina-3-galactósido, peonidina-3-galactósido y malvinidina-3-glucósido. Las variables dinámicas y la evolución temporal del jugo de los frutos arándanos almacenados en diferentes condiciones de iluminación y temperatura, muestra que mantener bajo oscuridad y almacenamiento refrigerado sería la opción recomendada. A partir de los espectros IR y Raman se encontró que predominan los siguientes polifenoles: catequina y quercetina. Los valores obtenidos en el análisis microbiológico son similares a los obtenidos en otros trabajos publicados, por lo que la técnica nos permite predecir las UFC (hongos) de manera bastante precisa.

Al ser el arándano un fruto exportable es de suma importancia buscar métodos de conservación que mejore la economía de producción dado que los costos de la energía son muy elevados en productos que deben incorporar un proceso de frío. Por otro lado la logística marina de nuestros puertos tiene una imprevisibilidad importante, que nos afecta de sobre manera y hace que busquemos otra logística a través de los puertos chilenos, que resulta costosa.

Al analizar la irradiación microondas como método de conservación el contenido de compuestos fenólicos totales de los frutos irradiados disminuyó un 30% respecto al testigo en el periodo estudiado de 10 días; y no se observa diferencia entre tratamientos en la potencia alta y baja. La actividad antirradicalaria es diferente entre los frutos tratados con microondas y el testigo: mientras que los

valores no difieren entre los frutos irradiados con alta y baja potencia durante los 10 días del ensayo.

El proceso de irradiación afecta de distinta manera las especies, presentando las de alta potencia valores mayores de absorbancia frente a los de media y baja potencia. El contenido de unidades formadoras de colonias es mayor en el testigo (6200 UFC/g de fruta) que en los frutos irradiados, siendo mayores a potencia baja potencia (1562 UFC/g de fruta) que alta potencia (606 UFC/g de fruta) a los 10 días del ensayo. Por las razones expuestas los procesos de radiado con microondas no parecen ser apropiados ya que a pesar de que la población de hongos disminuye sensiblemente, hay una variación significativa de la clase de compuestos fenólicos presentes.

Al emplear el efecto de la radiación UV 254 nm y UV 365 nm, de manera continua y pulsada en la conservación de los frutos de arándanos, el jugo de fruta presenta en los espectros UV-Vis un incremento de absorbancia en la zona de 400 a 600 nm al cabo de una semana.

En la zona de 200 a 400 nm se observa un decrecimiento de más del 300 % y las estructuras de bandas se hacen muy evidentes. Es recomendable conservar el fruto en la oscuridad, ya que los polifenoles son termolábiles.

El proceso de irradiación con UV se presenta como promisorio para conservar fruta, pero debe ser pulsado y con una longitud de onda de 254 nm.

Al evaluar el efecto de la radiación microondas, UV 254 Pulsado con y sin zarandeo, y visible continuo y pulsado en la conservación de los frutos de arándanos recién cosechados, mediante los espectros UV-Vis se identificaron. Se mantuvo la tendencia de la pérdida de peso entre la muestra control y tratada a lo largo del tiempo, mostrando las muestras tratadas con irradiación UV 254nm y microondas de baja intensidad una leve disminución de la pérdida de peso.

La fruta irradiada con UV y microondas tuvo un mayor contenido fenólico en comparación con la fruta no irradiada a los 0 y 7 días. En general, el contenido de fenoles totales y la capacidad antioxidante en función del tiempo mostraron

variaciones.

De los resultados obtenidos se puede concluir que el tratamiento UV se presenta como una alternativa prometedora ya que mantiene la calidad organoléptica de las muestras de arándanos estudiados, teniendo en cuenta que es amigable con el medioambiente dado que no deja residuos, no utiliza químicos, es sencilla y colabora con el ahorro energético. Además la radiación UV-C es efectiva en la inactivación de muchos tipos de microorganismos tales como bacterias, virus, protozoos, hongos, levaduras y algas.

Todas las frutas tratadas con radiación presentaron un aspecto turgente y de colores muy brillantes al cabo de una semana y con escasa o nula presencia de hongos.

Las aplicaciones de radiación UV continua producen cambios apreciables en la cantidad de antocianinas con valores próximos a los de la fruta sin tratamiento y el proceso de irradiación con UV pulsada de 254 nm se presenta como promisorio para conservar fruta.

Al tratar arándanos con irradiación UVC el contenido de polifenoles varió para frutas irradiadas y no tratadas dependiendo del tiempo.

Los frutos irradiados y conservados a temperatura ambiente muestran un comportamiento similar al de los frutos naturales a tiempo cero, manteniendo la madurez fisiológica y fenológica del fruto y por tanto sus propiedades organolépticas, demostradas en color.

Se observó un ligero aumento de luminosidad al tercer día de los extractos de los frutos en conserva con y sin radiación, siendo mayor el aumento en el natural, lo que indica que el tratamiento no afecta este parámetro de forma considerable. Mientras tanto, la luminosidad del extracto obtenido de la piel y la pulpa irradiada disminuyó con respecto al natural en el tiempo cero, lo que indica que ambos se oscurecieron por efecto de la irradiación.

La diferencia de color entre las muestras tratadas y las muestras control en el tiempo cero fue baja, incrementándose posteriormente con el tiempo de

conservación, concluyendo que es dinámica.

No hubo diferencias apreciables en el cambio de color debido a la irradiación. Por este motivo se considera que la irradiación de arándanos es un método muy valioso para la conservación.

En los ensayos realizados utilizando el prototipo propuesto para tratar arándanos mediante irradiación UV-C a distintas dosis se determinó que la muestra tratada con 4 kJ/m² indicó la menor pérdida de peso. El diámetro ecuatorial tuvo un comportamiento similar.

La aplicación de la radiación UV-C de mayor dosis afecta significativamente la reducción de las unidades formadoras de colonias a los 14 días de almacenamiento.

En cuanto a los atributos fisicoquímicos relacionados con la calidad sensorial, el tratamiento aplicado con radiación **UV-C a distintas dosis no modificó significativamente el contenido de sólidos solubles, la firmeza y el color de los arándanos.**

Los frutos irradiados y conservados a temperatura a 4°C muestran un comportamiento tras varios días similar al de los frutos naturales a tiempo cero, manteniendo la madurez fisiológica y fenológica del fruto.

La aplicación de la irradiación UV-C (254 nm) en frutos arándanos es una alternativa potencial para obtener arándanos frescos de calidad aceptable, por lo que se puede ampliar y mejorar la forma de aplicación de la irradiación en el prototipo propuesto.

Los resultados de los análisis microbiológicos son contundentes respecto de la bondad del método, como así también los resultados de color en fruto completo, espectro UV-V, diámetro ecuatorial, pérdida de peso, sólidos solubles, y dureza indican claramente que la irradiación UV-C no produce alteraciones en las propiedades del fruto arándano.

Finalmente se logró el objetivo de obtención de un método de conservación del fruto arándano permitiendo mantener sus cualidades Se logró investigar la composición y la dinámica de las especies de arándanos que se producen en la región, se evaluó nuevas metodologías de conservación, definiendo la más conveniente, se validó el método a nivel planta piloto a través del diseño y construcción de un equipo para aplicar los tratamientos propuestos. El mismo es económico, versátil, fácil de instalar, amigable con el medio ambiente y tendiente a incorporarse de manera continua en el proceso de empaque de los arándanos. Cabe resaltar que a nivel Nacional en la actualidad se realizan estudios científicos sobre el comportamiento de los frutos arándanos a la irradiación UV-C. No se encontró información respecto a ensayos ya aplicados en industria local. A nivel internacional, se realizan numerosas investigaciones tendientes a evaluar el comportamiento del fruto frente a la irradiación UV-C, además distintas empresas ofrecen el equipamiento necesario para el tratamiento poscosecha aplicando dicho método en la industria como por ejemplo, Sanuvox (Canadá), quien desarrolló un sistema continuo con el objetivo de destruir las bacterias y hongos, para la aplicación de UV-C en poscosecha de zanahorias, tomates, brócoli y arándanos.

7.2 Publicaciones

Campero, E. V.; Barrionuevo Ma. J.; Gómez Marigliano A. C. (2021) "Effect of UV radiation on postharvest conservation of blueberries". Advance journal of science, engineering and Technology. Manuscript ID: 21M-06-00.

Campero, E. V.; Barrionuevo, Ma. J.; Gómez Marigliano, A.C. (2021) "Evaluación de parámetros de exportación en arándanos tratados con luz UV". Investigaciones en facultades de ingeniería del NOA 7, 435-441. ISSN 1853-6662.

Campero, E. V.; Barrionuevo Ma., J.; Gómez Marigliano, A. C. (2019) "Estudio de parámetros de calidad de arándanos del NOA tratados con luz UV". Libro de resúmenes: III Congreso Argentino de Biología y Tecnología Poscosecha. ISBN 978-987-88-1963-1

Campero, E. V.; Barrionuevo, Ma. J.; Gómez Marigliano, A.C. (2020) "Evaluación de componentes bioactivos de paltas en la región NOA". Investigaciones en facultades de ingeniería del NOA 5, 79-84. ISSN 1853-6662.

Campero, E. V.; Barrionuevo Ma. J.; Gómez Marigliano A. C. (2019) "Estudio de la conservación de arándanos en la provincia de Tucumán- Argentina". Libro de resúmenes: II Congreso Argentino de Biología y Tecnología Poscosecha: Editorial: EDUNSE. - 1a ed.- Santiago del Estero: Universidad Nacional de Santiago del Estero - UNSE. Facultad de Agronomía y Agroindustrias. ISBN 978-987-1676-88-0

Campero, E. V.; Barrionuevo Ma. J.; Gómez Marigliano A. C. (2019) "Conservación de naranjas mediante irradiación UV". Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán. EEOC 96 (1). ISSN 0370-5404.

Campero E. V.; Medina N. S.; Sandoval C.; Barrionuevo Ma. J.; Gómez Marigliano A. C. (2019) "Conservation of oranges by UV irradiation". World Journal of Engineering Research and Technology 6(1), 01-10.

Campero, E. V.; Barrionuevo Ma. J.; A. C. Gómez Marigliano; Mercado Ma.; Ponessa G. (2018) "Anatomía del fruto de *Araujia odorata* "Doca". Aproximación a su caracterización físico química". Investigaciones en facultades de ingeniería del NOA 4, 46-52. ISSN 1853-6662.

Campero, V.; Barrionuevo, Ma. J.; Gómez Marigliano, A. C. (2018) "Physical, Chemical and Microbiological Characteristics of Tucuman Blueberry". Journal of engineering and technology management. Elsevier Science 6(1), 20-27.

Campero, V.; Barrionuevo, Ma. J.; Gómez Marigliano, A. C. (2016) "Evaluación del efecto de pulsos de microondas como método de conservación del fruto arándanos". Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA. CODINOA. ISSN 1853-7871.

Campero, V.; Barrionuevo, Ma. J.; Gómez Marigliano, A. C. (2016) "Evaluación del efecto de la radiación UV-V en la conservación de los frutos de arándanos". XXIV Jornadas jóvenes Investigadores AUGM. ISBN: 978-9974-8553-2-8.

8.3 Congresos

Jornadas de Seminarios 2021 de Estudiantes del Doctorado en Ciencias Exactas e Ingeniería de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología (FACET) de la Universidad Nacional de Tucumán (categorizado A por CONEAU, según Res.115/12). 13 y 14 de mayo de 2021, a través de la plataforma Google Meet, FACET-UNT.

“Estudio de parámetros de calidad de arándanos del NOA tratados con luz UV”. III Congreso Argentino de Biología y Tecnología Poscosecha. 2021. Autores: Campero, Eliana V.; Barrionuevo, María J.; Gómez Marigliano, Ana C.

“Evaluación de compuestos bioactivos de palta de la región NOA”. en las XIV Jornadas de Ciencia y Tecnología de Facultades de Ingeniería del NOA. Realizadas el 5 y 6 de Septiembre de 2019, en la ciudad de S.M. de Tucumán. Autores: Campero E. Vanesa, Vallino Agostina, Barrionuevo M. Julia y Ana C. Gómez Marigliano.

“Conservación de naranjas mediante irradiación UV”. IX Congreso Argentino de Citricultura, realizado entre el 11 y 14 de junio de 2019 en San Miguel de Tucumán, Tucumán, Argentina. Autores: Campero E. Vanesa, Ana C. Gómez Marigliano y Barrionuevo M. Julia.

“Desarrollo de métodos físico para la conservación poscosecha de frutos”. Encuentro Científico de Investigadores de la FACET, ECIFACET 2019 realizado el 25 y 26 de Abril de 2019, en la ciudad de S.M. de Tucumán. Autores: Campero E. Vanesa, Ana C. Gómez Marigliano y Barrionuevo M. Julia.

“Fruto de Araujia odorata “Doca”. Caracterización”. Encuentro Científico de Investigadores de la FACET, ECIFACET 2019 realizado el 25 y 26 de Abril de 2019, en la ciudad de S.M. de Tucumán. Autores: Campero E. Vanesa, Ana C. Gómez Marigliano y Barrionuevo M. Julia.

“Estudio de la conservación de arándanos en la provincia de Tucumán-Argentina”. II Congreso Argentino de Biología y Tecnología Poscosecha, realizado los días 11, 12 y 13 de Septiembre de 2019 en la ciudad de en Santiago del Estero, Argentina. Autores: Campero E. Vanesa, Ana C. Gómez Marigliano y Barrionuevo M. Julia.

“Conservación de arándanos con pulsos de radiación”. 101 Reunión de la Asociación física argentina (AFA). Tucumán. Octubre 2016. Autores: Gómez Marigliano A. C., Campero V., Danielsen K., Barrionuevo Ma. J.

“Evolución temporal en la conservación de arándanos de Tucumán”. I Jornadas Universitarias de Procesos Químicos y Tecnología Industrial. Córdoba. Agosto 2016. Autores: Danielsen K., Campero V.

“Evaluación del efecto de la radiación UV-V en la conservación de los frutos de arándanos”. XXIV Jornadas jóvenes Investigadores AUGM. Sao Pedro- San Pablo Brasil. Octubre 2016. Autores: Campero V.

“Caracterización de compuestos bioactivos de arándanos cultivados en la provincia de Tucumán”. VI Congreso Internacional de ciencia y Tecnología de los alimentos. Córdoba. Noviembre de 2016. Autores: Veliz Capparelli A.S., Campero V., Sáez S., Barrionuevo M.J.

“Características físicas, químicas y microbiológicas en arándanos de Tucumán”. AFA- Mar del Plata. Octubre 2015. Autores: Gómez Marigliano A. C., Campero V., Barrionuevo Ma. J.



Bibliografía

Abadía M, Castellari M, Viñas I. (2009) "Minimal processing of a natural apple fruit purée by microwave heating". *Innovative Food Science and Emerging Technologies*; 10 (4):545-50.

Adaskaveg, J.E. (2007) "Sistemas de almacenamiento". J.E. Thompson. *Tecnología Postcosecha de Cultivos Hortofrutícolas*. Universidad de California, California, 131-148.

Adhikari A, Syamaladevi RM, Killinger K, Sablani SS. (2015) "Ultraviolet-C light inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes* on organic fruit surfaces". *Int J Food Microbiol.*; 210, 136-42.

Aguado M.A. y Ibarz A. (1988) "Variación de la densidad de un zumo de manzana con la temperatura y concentración". *Alimentación, Equipos y Tecnología*; 209-216.

Alam Md. N., Bristi N.J., Rafiquzzaman Md. (2012) "Review on in vivo and in vitro methods evaluation of antioxidant activity". *Saudi Pharmaceutical Journal*; 21, 143-152.

Albarici, T.R. y J.D.C. Pessoa. (2012) "Effects of Heat Treatment and Storage Temperature on the Use of Açai Drink by Nutraceutical and Beverage Industries". *J. Food Sci. Technol. (Campinas)*, 32(1), 9-14.

Allende, A., McEvoy, J. L., Luo, Y., Artes, F., and Wang, C. Y. (2006) "Effectiveness of two-sided UV-C treatments in inhibiting natural microflora and extending the shelf-life of minimally processed 'Red Oak Leaf' lettuce". *Food Microbiol.*, 23, 241-249.

Andrade-Cuvi, M. J., Moreno, C., Zaro, M. J., Vicente, A. R. y Concellón, A. (2017) "Improvement of the antioxidant properties and postharvest life of three exotic andean fruits by UV-C treatment". *Journal of Food Quality*, 1-10.

AOAC Official methods of Analysis (2005). 18th. Ed. Association of Officiating Analytical Chemists, Washington DC.

AOAC Official methods of Analysis of AOAC International (2000) 17th. Ed. Dr. W. Horwitz. Maryland. USA.

"Arándanos, el futuro". (2008) *Revista Innova* N ° 1. SAGARPA.

Arosha, L. y Ruplal, C. (2018) "Postharvest ultraviolet light treatment of fresh berries for improving quality and safety". *International Journal of Food Science and Nutrition Engineering* 8(3), 60-71.

Arteagas Hubert, ...; Espinoza Mario; Aguilar Julio; Gómez Elvia; Cabanilla Jhonatan, Santa Cruz Miguel. (2015) "Effect of the osmotic dehydration on the anthocyanin content and capacity for rehydration of blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) lyophilized". *Agroindustrial Science*, 5(2), 167-175.

Bachmann, R. (1975) "Sterilization by intensive ultraviolet radiation". *Brown Boveri Rev.* 62, 206-209.

Bakowska-Barczak AM, Kolodziejczyk P. (2008) "Evaluation of Saskatoon berry (*Amelanchier alnifolia* Nutt.) cultivars for their polyphenol content, antioxidant properties, and storage stability". *J Agric Food Chem.*; 56(21), 9933–9940.

Baltacıoğlu, H., Baltacıoğlu, C., Okur, I., Tanrıvermiş, A., & Yalıcı, M. (2021). "Optimization of microwave-assisted extraction of phenolic compounds from tomato: Characterization by FTIR and HPLC and comparison with conventional solvent extraction". *Vibrational Spectroscopy*, 113, 103204.

Barbosa-Cánovas, Gustavo & Bermudez-Aguirre, Daniela. (2010). *Procesamiento no térmico de alimentos*. *Scientia Agropecuaria*, 1, 81-93.

Barnes, J. S., Nguyen, H. P., Shen, S., & Schug, K. A. (2009) "General method for extraction of blueberry anthocyanins and identification using high performance liquid chromatography–electrospray ionization-ion trap-time of flight-mass spectrometry". *Journal of Chromatography A.*; 1216(23), 4728-4735.

Barreto, M. A., Cánovas, A. F., ... , M. J. E. (2016) "Determinación de polifenoles totales en arándanos y productos derivados". *UCV-SCIENTIA/Journal of Scientific Research of University Cesar Vallejo*, 8 (1), 13-21.

Bayindirli L. (1993) "Density and viscosity of grape juice as a function of concentration and temperatura". *Journal of Food Preservation*; 17, 147-151.

Bello, F., Vázquez, D.E., Heredia, A.M., Almirón, N. (2010) "Influencia del momento de cosecha sobre la calidad de frutos de arándanos (*Vaccinium corymbosum* L) en la región de Salto Grande, Entre Ríos". Libro de Resúmenes XXXIII Congreso Argentino de Horticultura, Rosario, Santa Fe, 131.

Bermúdez-Aguirre D., Barbosa-Cánovas G.V. (2013) "Disinfection of selected vegetables under nonthermal treatments: Chlorine, acid citric, ultraviolet light and ozone". *Food Control* 29, 82-90.

Bintsis, T., Litopoulou-Tzanetaki, E., & Robinson, R. K. (2000) "Existing and potential applications of ultraviolet light in the food industry - a critical review". *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(6), 637-645.

Bonilla-González, J.P., & Prieto-Ortíz, F.A. (2016) "Determinación del estado de maduración de frutos de feijoa mediante un sistema de visión por computador utilizando información de color". *Rev. investig. desarro. innov.*, 7(1), 111-126.

Bouzari A, Holstege D, Barrett DM. (2015) "Mineral, fiber, and total phenolic retention in eight fruits and vegetables: a comparison of refrigerated and frozen storage". *J Agric Food Chem.*; 63(3), 951-956.

Bridgers, E.N.; Chinn, M.S.; Truong, V.D. (2010) "Extraction of anthocyanins from industrial purple-fleshed sweetpotatoes and enzymatic hydrolysis of residues for fermentable sugars". *Industrial, en: Crops and Products* 32 (3), 613-620.

Brown da Rocha, C., & Zapata Noreña, C. P. (2020) "Microwave-assisted extraction and ultrasound-assisted extraction of bioactive compounds from grape pomace". *International Journal of Food Engineering*, 16(1-2).

Bu, J., Yu, Y., Aisikaer, G., & Ying, T. (2013) "Postharvest UV-C irradiation inhibits the production of ethylene and the activity of cell wall-degrading enzymes during softening of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) fruit". *Postharvest Biology and Technology*, 86, 337-345.

Buratti, S., Cappa, C., Benedetti, S., & Giovanelli, G. (2020) "Influence of cooking

conditions on nutritional properties and sensory characteristics interpreted by e-senses: Case-study on selected vegetables". *Foods*, 9(5), 607.

Butot S, Cantergiani F, Moser M, Jean J, Lima A, Michot L, Putallaz T, Stroheker T, Zuber S. (2018) "UV-C inactivation of foodborne bacterial and viral pathogens and surrogates on fresh and frozen berries". *Int J Food Microbiol.*; 275, 8-16.

Buzeta A. (1997). "Chile: Berries para el 2000". Departamento Agroindustrial. Fundación Chile. Santiago, Chile. 52-89

Cases AM, et al. (2001) "Density, viscosity, and refractive index of formamide, three carboxylic acids, and formamide + carboxylic acid binary mixtures". *J Chem Eng Data*; 46, 712-715.

Cases AM, et al. (2003) "Excess molar volume, viscosity and refractive index deviations for mixtures of formamide + some carboxylic acids at several temperatures". *Phys Chem Liq.*; 41, 503-508.

Cassidy A. (2018) "Berry anthocyanin intake and cardiovascular health". *Mol. Asp. Med.*; 61, 76–82.

Chalutz, E., Droby, S., Wilson, C. L., & Wisniewski, M. E. (1992). "UV-induced resistance to postharvest diseases of citrus fruit". *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 15(4), 367-371.

Charles, M., Tano, K., Asselin, A., Arul, J. (2009) "Physiological basis of UV-C induced resistance to *Botrytis cinerea* in tomato fruit. V. Constitutive defence enzymes and inducible pathogenesis-related proteins". *Postharvest Biol. Technol.* 51, 414-424.

Charles, M.T., Mercier, J., Makhlouf, J., Arul, J. (2008) "Physiological basis of UV-C induced resistance to *Botrytis cinerea* in tomato fruit. I. Role of pre- and postchallenge accumulation of the phytoalexin-rishitin". *Postharvest Biol. Technol.* 47, 10–20.

Chen, Y., Zhang, X., Luo, Z., Sun, J., Li, L., Yin, X., . . . Xu, Y. (2021) "Effects of inside-out heat-shock via microwave on the fruit softening and quality of persimmon during

postharvest storage". *Food Chemistry*, 349, 129-161.

Chu, W., Gao, H., Chen, H., Fang, X., Zheng, Y. (2018) "Efectos de la cera cuticular en la calidad poscosecha de la fruta de arándano". *Food Chemistry*, 239, 68-74.

Clará RC, et al. (2009) "Density, viscosity, refractive index, in the range (283.15 to 353.15) K and Vapor Pressure of α - Pinene, d - Limonene, () - Linalool and Citral over the Pressure Range 1.0kPa - Atmospheric Pressure". *J Chem Eng Data*, 54, 1087-1090.

Connor AM, Luby JJ, Hancock JF, Berkheimer S, Hanson EJ. (2002) "Changes in fruit antioxidant activity among blueberry cultivars during cold-temperature storage". *J Agric Food Chem.*; 50(4), 893-898.

Costa, L., Vicente, A.R., Civello, P.M., Chaves, A.R., Martínez, G.A. (2006) "UV-C treatment delays postharvest senescence in broccoli florets". *Postharvest Biol. Technol.* 39, 204-210.

Cote Daza S. P. (2011) "Efecto de la intensidad de la radiación UV-C sobre la calidad sensorial, microbiológica y nutricional de frutos". Tesis de maestría CIDCA, Universidad de La Plata.

Cote, S., Rodoni, L., Miceli, E., Concellón, A., Civello, P. M., & Vicente, A. R. (2013) "Effect of radiation intensity on the outcome of postharvest UV-C treatments". *Postharvest Biology and Technology*, 83, 83-89.

De Capdeville, G., Wilson, C. L., Beer, S. V., & Aist, J. R. (2002) "Alternative disease control agents induce resistance to blue mold in harvested 'Red Delicious' apple fruit". *Phytopathology*, 92(8), 900-908.

De Moura SC, et al. (1998) "Thermophysical properties of tropical fruit juices". *Brazilian Journal of Food Technology*; 1, 70-76.

Defilippi, Bruno, Robledo, Paula y Becerra, Cecilia (2013) "Manejo de cosecha y poscosecha en arandano". Chillan: Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. N° 263.

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

Delgado-Vargas F.; Jiménez AR; Paredes-López O. (2000) "Natural pigments: carotenoids, anthocyanins, betalains-characteristics, biosynthesis, processing and stability". *Food Science and Nutrition*, 40, 173-289.

Del-Valle, V.; Picouet, Pierre. (2005) "Aplicaciones de las ondas electromagnéticas en productos alimenticios". *TECA: Tecnologia i Ciència dels Aliments*, 26-33.

Devi SP, Saravanakumar M, Mohandas S. (2012) "The effects of temperature and pH on stability of anthocyanins from red sorghum (*Sorghum bicolor*) bran". *African Journal of Food Science*, 6, 567-573.

D'hallewin, G.; Schirra, M.; Pala, M., & Ben-Yehoshua, S. (2000) "Ultraviolet C Irradiation at 0.5 kJ m⁻² Reduces Decay without Causing Damage or Affecting Postharvest Quality of Star Ruby Grapefruit (*C. paradisi* Macf.)". *Journal of Agricultural and Food chemistry*, 48(10), 4571-4575.

Díaz NA, JA Bárcena, Fernández E., Galván A., Jorrín J., Peinado J., Meléndez-Valdés F. & Túnez I. (2000) "Espectrofotometría: espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas". Departamento de Bioquímica y Biología Molecular, Campus Universitario de Rabanales, Facultad de Medicina, Córdoba, 1-8.

Ding, P., & Ling, Y. S. (2014) "Browning assessment methods and polyphenol oxidase in UV-C irradiated Berangan banana fruit". *International Food Research Journal*, 21(4), 1667-1674.

Dolatabadi, M., Dehghan, G., Hosseini, S. y J. Esfahlan. (2015) "Effect of five-year storage on total phenolic content and antioxidant capacity of almond (*Amygdalus communis* L.) hull and shell from different genotypes". *Avicenna J. Phytomed*, 5 (1), 26-33.

Domingo C, et al. (2010) "Applications of SERS (Surface-Enhanced Raman Scattering) spectroscopy to the detection of natural organic pigments in objects of Cultural Heritage. *Plasmónica: Detection on metallic nanostructures*". Spanish Society of Optics. Madrid;

2183, 197-230.

Domínguez L., Parzanese M. (2011) "Luz ultravioleta en la conservación de alimentos". Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. Alimentos Argentinos 71-16.

Escalona, V. H., Aguayo, E., Martínez-Hernández, G. B., and Artés, F. (2010) "UV-C doses to reduce pathogen and spoilage bacterial growth in vitro and in baby spinach". Postharvest Biol. Technol. 56, 223-231.

Espinosa Manrique, Wilfred E, Garzón Salcedo, Luis C. A, & Medina Vargas, Oscar J. (2016) "Validación de una metodología analítica para la cuantificación de polifenoles totales, en procesos de extracción asistida por microondas sobre frutos de la especie colombiana *Vaccinium meridionale*". Revista Colombiana de Ciencias Químico - Farmacéuticas, 45(1), 109-126.

Esua OJ, Chin NL, Yusof YA, Sukor R. (2020) "Review on Individual and Combination Technologies of UV-C Radiation and Ultrasound in Postharvest Handling of Fruits and Vegetables". Processes 8 (11), 1433.

Fabiani G. L.; Perez E.E., Corral L.; Salguero A. R.; González M., Tereschuck M. L. y Boggetti H. J. (2013) "Evaluación del contenido de antioxidantes en extractos convencionales y supercríticos de arandano (*Vaccinium corymbosum* L.)". Investigaciones en facultades del NOA. ISSN N° 1853-7871

Falguera, V., Pagán, J., Garza, S., Garvín, A., & Ibarz, A. (2011). "Ultraviolet processing of liquid food: A review: Part 2: Effects on microorganisms and on food components and properties". Food Research International, 44(6), 1580-1588.

Fazli, F.A., & Fazli, N.A. (2014) "Evaluation and determination of minerals content in fruits". The International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences, 4, 160-166.

Ferreira Ozela E, Stringheta C, Cano Chauca M. (2007) "Stability of anthocyanin in spinach vine (*Basella rubra*) fruits". Ciencia e Investigación Agraria, 34, 115-120.

Figuerola D., Guerrero J. y Bensch E. (2010) "Efecto de momento de cosecha y permanencia en el huerto sobre la calidad en poscosecha de arándano alto (*Vaccinium Corymbosum* L), cvs. Berkeley, Brigitta y Elliott durante la temporada 2005-2006". *Idesia* (Arica) 28(1), 79-84.

Flores Aguilar E. dilberto, & FloresRivera E. del P. (2018) "Estabilidad de Antocianinas, Fenoles totales y Capacidad Antioxidante de Bebidas de Maíz Morado (*Zea mays* L.) y Uña de Gato (*Uncaria tomentosa* sp)". *Información tecnológica*, 29(2), 175-184.

Flores López, T; Cerón-García, A.; Salcedo-Hernández, R. y Sosa-Morales, M. E. (2017) "Tratamientos poscosecha asistidos con microondas para evitar el decaimiento en frambuesas (*Rubus idaeus* L.)". *Investigación y desarrollo en ciencia y tecnología*, 2, 223-229.

Förster H, Driever GF, Thompson DC, Adaskaveg JE. (2013) "Postharvest Decay Management for Stone Fruit Crops in California Using the "Reduced-Risk" Fungicides Fludioxonil and Fenhexamid". *Plant Dis*; 91(2), 209-215.

Frisón Noemi, María Zoé Rivas, Carolina Andrea Chiericatti, Andrea Marcela Piagentin (2021) "Efecto de la radiación UV-C sobre la calidad y la flora fúngica contaminante natural de arándanos (*Vaccinium corymbosum* L., variedad O'Neal)". *iINNOTEC*, 22, 575.

Gad G. Yousef, Mary A. Lila, Ivette Guzman, James R. Ballington y Allan F. Brown. (2014) "Impacto de la introgresión interespecífica en los perfiles de antocianinas del arándano alto del sur". *Revista de la Sociedad Estadounidense de Ciencias Hortícolas. Sociedad Estadounidense de Ciencias Hortícolas*. 139 (2), 99-112. .

Gallardo Sandoval A. (2013) "Uso de la luz UV-C en la calidad del arándano azul (*Vaccinium ashei* Reade)". *Tesis Magister Ciencias Agrícolas, Mexico*.

Gamage T.V., Sanguansri P., Swiergon P., Eelkema M., Wyatt P., Leach P., Alexander D.L.J., Knoerzer K. (2015) "Continuous combined microwave and hot air treatment of apples for fruit fly (*Bactroceratryoni* and *B. jarvisi*) disinfestation". *Innovative Food*

Science and Emerging Technologies 29, 261–270.

García Pastor, M. E. (2016) “Contenido en antocianos y compuestos fenólicos en diferentes frutos frescos y deshidratados”. Tesis. Máster oficial en técnicas avanzadas para la investigación y la producción en fruticultura. Universidad Miguel Hernandez de Elche. España.

García Rubio J. C., García Gonzalez de Lena, G., & Ciordia Ara, M. (2013) “Situación actual del cultivo del arándano en el mundo”. *Tecnología Agroalimentaria*, 12, 5-8.

García Rubio, J. C., García González de Lena, G. (2011) “Guía del arándano en Asturias”. *Tecnología Agroalimentaria*, 9, 13-20.

García Rubio, J. C., García González de Lena, G. (2018) “El Cultivo del Arándano en el Norte de España”. Servicio regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario. (SERIDA).

Garmendia, G.; VERO, S. (2006) “Métodos para la desinfección de frutas y hortalizas”. *Horticultura*. 197, 18-27.

Gazula H., Quansah J., Allen R., Scherm H., Li C., Takeda F., Chen J. (2019) “Microbial loads on selected fresh blueberry packing lines”. *Food Control*, 100, 315–320.

George, D. S., Razali, Z., Santhirasegaram, V., & Somasundram, C. (2015) “Effects of ultraviolet light (UV-C) and heat treatment on the quality of fresh-cut Chokanan mango and Josephine pineapple”. *Journal of food science*, 80(2), 426-434.

Gibson, L., Rupasinghe, H. P., Forney, C. F., & Eaton, L. (2013). “Characterization of Changes in Polyphenols, Antioxidant Capacity and Physico-Chemical Parameters during Lowbush Blueberry Fruit Ripening”. *Antioxidants (Basel, Switzerland)*, 2(4), 216–229.

Giovanelli G and Buratti S. (2009) “Comparison of polyphenolic composition and antioxidant activity of wild Italian blueberries and some cultivated varieties”. *Food Chem.*;112, 903-908.

Godoy, C.A. (2004) "Conservación de dos variedades de arándano alto en condiciones de frío convencional". *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo*, 1, 53- 61.

González-Aguilar, G. A., Zavaleta-Gatica, R., & Tiznado-Hernández, M. E. (2007) "Improving postharvest quality of mango 'Haden' by UV-C treatment". *Postharvest Biology and Technology*, 45(1), 108-116.

Gozzi Marta S. (2019) "Variabilidad de la capacidad antioxidante de extractos foliares de arándano *vaccinium ashei* obtenidos en diferentes condiciones de extracción". Tesis de Maestría en Calidad Industrial. INCALIN (INTI – UNSAM)

Graça, A., Salazar, M., Quintas, C., & Nunes, C. (2013) "Low dose UV-C illumination as an eco-innovative disinfection system on minimally processed apples". *Postharvest Biology and Technology*, 85, 1-7.

Guerrero J., Ciampi L., Castilla A., Medel F., Schalchli H., Hormazabal E., Alberdi, M. (2010) "Antioxidant capacity, anthocyanins, and total phenols of wild and cultivated berries in Chile". *Chilean Journal of Agricultural Research*, 70(4), 537-544.

Guerrero-Beltrán, J.A. Barbosa-Cánovas, G.V. (2004) "Review: Advantages and Limitations on Processing Foods by UV Light". *Food Science Technology International*. EUA, 10(3), 137-147.

Gündüz, G. T., Juneja, V. K., & Pazır, F. (2015) "Application of ultraviolet-C light on oranges for the inactivation of postharvest wound pathogens". *Food Control*, 57, 9-13.

Gutierrez O. T. A., Palou E. y Lopez-Malo. (2012) "Equipos para tratamientos con UVC en alimentos". *Temas Selectos de Ingeniería en Alimentos* 6-2, 149-159.

Hamanaka, D., Norimura, N., Baba, N., Mano, K., Kakiuchi, M., Tanaka, F., & Uchino, T. (2011) "Surface decontamination of fig fruit by combination of infrared radiation heating with ultraviolet irradiation". *Food Control*, 22(3), 375-380.

Hare, J. M. (2013). Sabouraud agar for fungal growth. *Laboratory protocols in fungal biology*, 211-216.

- Haro-Maza, J. y Guerrero-Beltrán, J. (2013) "Efecto de la radiación UV-C en frutas y verduras". *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 7(1), 68-77.
- Hassimotto, N.; Vieira da Mota, R.; Cordenunsi, B.; Lajolo, F. (2008) "Physico-chemical characterization and bioactive compounds of blackberry fruits (*Rubus* sp.) grown". *Journal of Food and Chemistry* (28), 702-703.
- Heredia, A.M., Alves, P., Pérez, E. (2011) "Microflora en frutos de arándanos para exportación en el área de influencia del río Uruguay". Libro de Resúmenes 2do Congreso Argentino de Fitopatología, Mar del Plata, Buenos Aires, 117
- Heredia, A.N. (2014) "Evaluación de prácticas de manejo que influyen la calidad postcosecha de frutas de arándanos de la Región de Salto Grande, Argentina". Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Entre Ríos. Facultad de Ciencias de la Alimentación.
- Hong V and Wrolstad RE. (1990) "Use of HPLC separation/photodiode array detection for characterization of anthocyanins". *J AgricFood Chem.*; 38,708-715.
- Huang D., Ou B., Prior R.L. (2005). "The Chemistry behind Antioxidant Capacity Assays". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*; 53, 1841-1856.
- Inostroza-Blancheteau C., Reyes-Díaz M., Arellano A., Latsague M., Acevedo P., Loyola R., Arce-Johnson P., Alberdi M. (2014) "Effects of UV-B radiation on anatomical characteristics, phenolic compounds and gene expression of the phenylpropanoid pathway in highbush blueberry leaves". *Plant Physiology and Biochemistry*, 85, 85-95.
- Istek N., Gurbuz O. (2017) "Investigation of the impact of blueberries on metabolic factors influencing health". *J. Funct. Foods*, 38, 298-307.
- Janisiewicz, W. J., and Conway, W. S. (2011) "Combining biological control with physical and chemical treatments to control fruit decays after harvest". *Stewart Postharvest Rev.* 9, 1-16.
- Janisiewicz, W. J., Takeda, F., Glenn, D. M., Camp, M. J., & Jurick, W. M. (2016). "Dark period following UV-C treatment enhances killing of *Botrytis cinerea* conidia and

controls gray mold of strawberries". *Phytopathology*, 106(4), 386-394.

Jaramillo Sánchez G, Contigiani EV, Coronel MB, Alzamora SM, García-Loredo A, Nieto AB. (2021) "Study of UV-C treatments on postharvest life of blueberries 'O'Neal' and correlation between structure and quality parameters". *Heliyon*; 7(6):07190.

Jepson RG, Craig JC. (2007) "2A systematic review of evidence for cranberries and blueberries in UTI prevention". *Mol Nutr Food Res* ; 51, 1-8.

Jimenez-Garcia S.N., Guevara-Gonzalez R.G., Miranda-Lopez R., Feregrino-Perez A.A., Torres-Pacheco I., Vazquez-Cruz M.A. (2013) "Functional properties and quality characteristics of bioactive compounds in berries: Biochemistry, biotechnology, and genomics". *Food Res. Int.*; 54, 1195–1207.

Joseph, J.A.; Denisova, N.A.; Arendash, G.; Gordon, M.; Diamond, D.; Shukitt-Hale, B.; Morgan, D. (2003). "Blueberry supplementation enhances signaling and prevents behavioral deficits in an Alzheimer disease model". *Nutr. Neurosci.*, 6, 153-162.

Kalt W, Forney CF, Martin A, Prior RL. (1999) "Antioxidant Capacity, Vitamin C, Phenolics, and Anthocyanins after Fresh Storage of Small Fruits". *J Agric Food Chem.*; 47(11), 4638–4644.

Kalt W, Lawand C, Ryan DAJ, McDonald JE, Donner H, Forney CF. (2003) "Oxygen Radical Absorbing Capacity, Anthocyanin and Phenolic Content of Highbush Blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) during Ripening and Storage". *J Am Soc Hortic Sci.*, 128(6), 917–923.

Kernou, O. N., Belbahi, A., Amir, A., Bedjaoui, K., Kerdouche, K., Dairi, S., . . . Madani, K. (2021) "Effect of sonication on microwave inactivation of 58 *Escherichia coli* in an orange juice beverage". *Journal of Food Process Engineering*, 44(5), 13664

Kim MJ, Perkins-Veazie P, Ma G, Fernandez G. (2015) "Shelf life and changes in phenolic compounds of organically grown blackberries during refrigerated storage". *Postharvest Biol Technol*, 110, 257–63.

- Kim, C.; Hung, Y.C. (2012) "Inactivation of E. coli O157:H7 on blueberries by electrolyzed water, ultraviolet light, and ozone". *J. Food Sci*, 77, 206–211.
- Kim, J. Y., Kim, H. J., Lim, G. O., Jang, S. A., & Song, K. B. (2010) "The effects of aqueous chlorine dioxide or fumaric acid treatment combined with UV-C on postharvest quality of 'Maehyang' strawberries". *Postharvest biology and technology*, 56(3), 254-256.
- Kirschbaum D. S. (2017). "Situación actual de la producción de las frutas finas en Argentina". *Suena Campo*. <http://suenaacampo.com>.
- Kirschbaum D., Rivadeneira Ma. F. (2012) Programa Nacional Frutales - Cadena arándano. INTA EEA. Concordia, Entre Rios. INTA EEA Famaillá, Tucumán.
- Kirschbaum, D. S. (2017). Arándanos, la fruta fina que más creció en los últimos años. *Producción*. <http://www.produccion.com.ar/>.
- Koutchma T., Forney L., Moraru C. (2009) "Ultraviolet Light in Food Technology: Principles and Applications". 1era ed. CRC PRESS. New York, USA.
- Kowalski, W. (2009) Mathematical Modeling of UV Disinfection. *Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook*, 51–72.
- Laleh GH, Frydoonfar H, Heidary R, Jameel R, Zare S. (2006) "The effect of light, temperature, pH and species on stability of anthocyanin pigments in four berberis species". *Pakistan Journal of Nutrition*, 5, 90-92.
- Lamikanra, O., Kueneman, D., Ukuku, D., & Bett-Garber, K. L. (2005) "Effect of Processing Under Ultraviolet Light on the Shelf Life of Fresh-Cut Cantaloupe Melon". *Journal of Food Science*, 70(9), 534-539.
- Lamikanra, O., Richard, O. A., & Parker, A. (2002) "Ultraviolet induced stress response in fresh cut cantaloupe". *Phytochemistry*, 60(1), 27-32.
- Lante A, Tinello F, Nicoletto M. (2016) "V-A light treatment for controlling enzymatic browning of fresh-cut fruits". *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 34, 141–147.

León, S., & Elisa, D. (2012) "Estudio del potencial antioxidante de la mora (*Rubus glaucus* Benth) y sus cambios en función del proceso de maduración y bajo diferentes temperaturas de almacenamiento". Universidad Nacional de Colombia.

Leonelli C. and Mason J.T. (2010) "Microwave and ultrasonic processing: Now a realistic option for industry". *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification* 49, 885-900.

Lers, A., Burd, S., Lomaniec, E., Droby, S., & Chalutz, E. (1998) "The expression of a grapefruit gene encoding an isoflavone reductase-like protein is induced in response to UV irradiation". *Plant molecular biology*, 36(6), 847-856.

Li, X. y Farid, M. (2016) "A review on recent development in non-conventional food sterilization technologies". *Journal of Food Engineering* 182, 33-45.

Liao YT, Syamaladevi RM, Zhang H, Killinger K, Sablani S. (2017) "Inactivation of *Listeria monocytogenes* on Frozen Red Raspberries by Using UV-C Light". *J Food Prot*, 80(4), 545-550.

Liu C, Huang Y, Chen H. (2015) "Inactivation of *Escherichia Coli* O157:H7 and *Salmonella* Enterica on Blueberries in Water Using Ultraviolet Light. *J Food Sci*.

Lohachoompol V, Srzednicki G, Craske J. (2004) "The Change of Total Anthocyanins in Blueberries and Their Antioxidant Effect After Drying and Freezing". *J Biomed Biotechnol.*, 248-52.

Lopez Diaz A.S., Palou E, Lopez Malo A. (2012) "Radiación ultravioleta en jugos de frutas: fundamentos y aplicaciones". *Temas selectos de ingeniería de alimentos* 6- 2: 79-93.

Lopez I, Maldonado E, Castro G, Parada R. (2011) "Uso de tratamiento por microondas e impregnación al vacío en la conservación de la mora de castilla (*Rubus glaucus*)". *Alimentech Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 9(2), 152-160.

Lyon, S., Fletcher, D. y Berrang, M. (2007) "Germicidal ultraviolet light to lower

numbers of *Listeria monocytogenes* on broiler breast fillets". *Poultry Science*, 86, 964–967.

Malacrida C. R.; Motta S. (2005) "Compostos fenólicos totais e antocianinas em suco de uva". *Ciência e Tecnologia dos Alimentos*, 25(2), 659-664.

Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Rémésy, C., & Jiménez, L. (2004). "Polyphenols: Food sources and bioavailability". *The American Journal of Clinical Nutrition*, 79(5), 727-747.

Marquenie, D., Lammertyn, J., Geeraerd, A. H., Soontjens, C., Van Impe, J. F., Nicolai, B. M., and Michiels, C. W. (2002) "Inactivation of conidia of *Botrytis cinerea* and *Monilinia fructigena* using UV-C and heat treatment". *Int. J. Food Microbiol.*, 74, 27-35.

Marquenie, D., Michiels, C. W., Geeraerd, A. H., Schenk, A., Soontjens, C., Van Impe, J. F., & Nicolai, 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 of Food Microbiology*, 73(2), 187-196.

Martins, C. P., Cavalcanti, R. N., Cardozo, T. S., Couto, S. M., Guimarães, J. T., Balthazar, C. F., . . . Raices, R. S. (2021) "Effects of microwave heating on the chemical composition and bioactivity of orange juice-milk beverages". *Food Chemistry*, 345, 128746.

Mathias-Rettig, K., & Ah-Hen, K. (2014) "El color en los alimentos un criterio de calidad medible". *AgroSur*, 42(2), 57-66.

Meléndez-Jácome, María Raquel, Flor-Romero, Lorena Estefanía, Sandoval-Pacheco, María Esther, Vasquez-Castillo, Wilson Arturo, & Racines-Oliva, Mauricio Andrés. (2021) "Vaccinium spp.: Características cariotípicas y filogenéticas, composición nutricional, condiciones edafoclimáticas, factores bióticos y microorganismos benéficos en la rizosfera". *Scientia Agropecuaria*; 12(1), 109-120.

Mendoza Alván, C. (2014) "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 (*Vaccinium corymbosum* L.) cv. Biloxi".

Tesis de grado. Universidad Privada Antenor Orrego. Facultad De Ciencias Agrarias. Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias.

Merken HM and Beecher GR. (2000) "Measurement of food flavonoids by high-performance liquid chromatography: A Review". *J Agric Food Chem.*; 48, 577-599.

Meza, B., Luque, E., Price, D. (2017) "Efecto del refrigerado y congelado en el contenido de polifenoles totales, antocianinas y actividad antioxidante de arándanos (*Vaccinium Corymbosum*, Variedad "Biloxi") cultivados en diferentes microclimas de Perú". Tesis, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC).

Millán Villarroel, Dionelys, Romero González, Lucía, Brito, Marbella y Ramos-Villarroel, Ana Yndira. (2015) "Luz ultravioleta: inactivación microbiana en frutas. SABER. Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente; 27(3):454-469.

Mohammad Salamatullah, A., Saeed Alkaltham, M., Hayat, K., Asif Ahmed, M., Arzoo, S., Mabood Husain, F., & Alzahrani, A. (2021) "Bioactive and antimicrobial properties of eggplant (*Solanum melongena* L.) under microwave cooking". *Sustainability*, 13(3), 1519.

Moldovan, B., Popa, A. y L. David. (2016) "Effects of storage temperature on the total phenolic content of Cornelian Cherry (*Cornus mas* L.) fruits extracts". *Journal of Applied Botany and Food Quality* 89, 208 – 211.

Moon J., Shibamoto T. (2009) "Antioxidant assays for plant and food components". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57: 1655 – 1666.

Morales, L. O., Tegelberg, R., Brosché, M., Keinänen, M., Lindfors, A., y Aphalo, P. J. (2010). "Effects of solar UV-A and UV-B radiation on gene expression and phenolic accumulation in *Betula pendula* leaves". *Tree Physiology*, 30(7), 923-934.

Moreno, C., Cuvi, M., Zaro, M., Darré, M. y Concellón, A. (2017) "Short UV-C treatment prevents browning and extends the shelf-life of fresh-cut varambola". *Journal of Food Quality*, 1-9.

Neri Ruz E., González C., de León Jaen S., Gutiérrez Escoto P., Kunhardt Urquiza E., Ovadía Rosenfield L., Salazar López Ortiz C., Velázquez Castellanos P. (2009) "El jugo de arándano y su papel en las infecciones de las vías urinarias". Artículo de revision: *Ginecol Obstet Mex*, 77(11):512-7

Neto C.C. (2007) "Cranberry and blueberry: Evidence for protective effects against cancer and vascular diseases". *Mol. Nutr. Food Res.*, 51:652–664.

Nguyen, C. T., Kim, J., Yoo, K. S., Lim, S., & Lee, E. J. (2014) "Effect of prestorage UV-A, B, and-C radiation on fruit quality and anthocyanin of 'Duke' blueberries during cold storage". *Journal of agricultural and food chemistry*, 62(50), 12144-12151.

Nigro, F., Ippolito, A., & Lima, G. (1998) "Use of UV-C light to reduce Botrytis storage rot of table grapes". *Postharvest Biology and Technology*, 13(3), 171-18.

Nile S.H., Park S.W. (2014) "Edible berries: Bioactive components and their effect on human health". *Nutrition*, 30, 134–144.

Nindo CI, et al. (2005) "Viscosity of blueberry and raspberry juices for processing applications". *Journal of Food Engineering*; 69, 343-350.

Ochmian, I.; Grajkowski, J.; Skupien, K. (2009) "Influence of substrate on yield and chemical composition of highbush blueberry fruit cv. Sierra. *J. Fruit Ornam" Plant Res.*, 17, 89-100.

Ogawa K., Sakakibara H., Iwata R., Ishii T., Sato T., Goda T., Shimoi K., Kumazawa S. 2008. Anthocyanin composition and antioxidant activity of the crowberry (*Empetrum nigrum*) and other berries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 4457-62.

Olaya, C., M. Castaño y G. Garzón. (2009) "Stability of Anthocyanins from *Rubus Glaucus* and *Solanum Betaceum* Cav. Dark-Red Strain as Affected by Temperature, Storage and Water Activity". *Acta Biol. Colomb.*, 14(3), 143-158.

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

- Ortega, G. M., & Guerra, M. (2006) "Separación, caracterización estructural y cuantificación de antocianinas mediante métodos químico-físicos. Parte II". *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 40(3), 3-11.
- Ortiz Araque, L., Rodoni, L., Darré, M., Ortiz, C., Civello, P. y Vicente, A. (2018) "Cyclic low dose UV-C treatments retain strawberry fruit quality more effectively than conventional pre-storage single high fluence applications". *Food Science and Technology*, 92, 304-311.
- Ozcelik B. (2007) "Fungi/bactericidal and static effects of ultraviolet light in 254 and 354 nm wavelengths". *Res. J. Microbiol.* 2, 42-49
- Paniagua, A.; East, A.; Heyes, J. (2013a). "Effects of delays in cooling on blueberry quality outcomes". *Acta Horticulturae* 1012: 1493-1498.
- Paniagua, A.; East, A.; Hindmarsh, J.; Heyes, J. (2013b) "Moisture loss is the major cause of firmness change during postharvest storage of blueberry". *Postharvest Biology and Technology* 79: 13-19.
- Pereira SR, Pereira R, Figueiredo I, Freitas V, Dinis TCP, Almeida LM. (2017). "Comparación de las actividades antiinflamatorias de una fracción rica en antocianinas de arándanos portugueses (*Vaccinium corymbosum* L.) y ácido 5-aminosalicílico en un modelo de rata con colitis inducida por aTNBS". *PLoS ONE* 12 (3): e0174116.
- Pérez-Lavalle L, Carrasco E, Valero A. (2020) "Strategies for Microbial Decontamination of Fresh Blueberries and Derived Products". *Foods*, 9(11):1558.
- Perkins-Veazie, P., Collins, J., Howard, L. (2008) "Blueberry fruit response to postharvest application of ultraviolet radiation". *Postharvest Biology and Technology* 47, 280-285.
- Piccollo M, Aceto M, Vitorino T. (2019) "Espectroscopía UV-Vis". *Phys Sci Rev.* ,4 4.
- Picouet P, del Valle-Rodríguez V. (2005) "Tratamientos de altas frecuencias: parámetros y aplicaciones". *Eurocarnes*, 137, 1-10.
- Piljac-Žegarac J, Šamec D. (2011) "Antioxidant stability of small fruits in postharvest

storage at room and refrigerator temperatures". *Food Res Int*; 44(1), 345–350.

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.

Planchich, R. (2012). Identificación de la flora fúngica presente en frutillas naturales y estudio del efecto de la temperatura para prolongar su vida útil. Tesis de Licenciatura en ciencia y Tecnología de Alimentos. Facultad de ingeniería Química. Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe. Argentina.

Pombo, M. (2009). "Irradiación de frutillas con UV-C: efecto sobre la síntesis de proteínas, degradación de la pared celular y mecanismos de defensa". San Martín: Universidad Nacional de San Martín, Laboratorio de Bioquímica y Fisiología de la Maduración y Senescencia (Disertación Doctorado), 120.

Pombo, M. A., Rosli, H. G., Martínez, G. A., & Civello, P. M. (2011) "UV-C treatment affects the expression and activity of defense genes in strawberry fruit (*Fragaria x ananassa*, Duch.)". *Postharvest biology and technology*, 59(1), 94-102.

Prosky, L.; N-G; Furda, I. (1984) "Determination of total fiber dietary in foods. Foods products and total diets: interlaboratory study". *J. Assoc Off Anal Chem*, 67, 1044-1052.

Ramaswamy H. and Tang J. (2008) "Microwave and Radio Frequency Heating". *Food Science and Technology International* 14:423.

Resat Apak, Kubilay Güclü, Birsen Demirata, Mustafa Özyürek, Saliha Esin Celik, Burcu Bektasoglu, K. Isil Berker, Dilek Özyurt. (2007) "Comparative evaluation of various total antioxidant capacity assays applied to phenolic compounds with the CUPRAC assay". *Molecules*, 12, 1496–1547.

RESOLUCIÓN SAGPYA N° 201/2007. Protocolo de Calidad Para Arándanos Frescos.

Reyco Systems. (2015). "UVC light applied within the Tumbling Drum".

<http://www.reycosys-tems.com/solutions/uv-drum/>

Ribeiro C., Canada J., Alvarenga B. (2012) "Perspectivas de la radiación UV para la aplicación en la tecnología pos-cosecha", 2012, Emirates Journal of Food and Agriculture, 24 (6), 586-597.

Rivadeneira M. F., Kirschbaum D.S. (2012) INTA - National Fruit Program - Cranberry Chain. INTA EEA Famaillá.

Rivadeneira Ma. F. (2020). "Variedades de arándanos disponibles en Argentina". INTA EEA Concordia. https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_concordia_variedades_de_arandanos.pdf

Rivas, M., Piagentini, A. y Frisón, L. (2019). "Flora fúngica contaminante natural de arándanos (*Vaccinium corymbosum* L. O'Neal) de arándanos frescos y tratados térmicamente". Revista FAVE - Ciencias Agrarias, 18(2).

Rivera, DM., Béjar AAG., Martínez-Tellez, M., Rivera-Dominguez, M., y González-Aguilar., (2007) "Efectos bioquímicos postcosecha de la irradiación UV-C en frutas y hortalizas". Fitotecnia Mexicana, 30(4), 361-372.

Robards K and Antolovich M. (1997) "Analytical chemistry of fruit bioflavonoids". Analyst, 122, 11-34.

Rocha, F. S., Gomes, A. J., Lunardi, C. N., Kaliaguine, S., & Patience, G. S. (2018) "Experimental Methods in Chemical Engineering: Ultraviolet Visible Spectroscopy | UV-Vis". The Canadian Journal of Chemical Engineering, 96, 2512-2517.

Rodoni, L., Zaro, M., Hasperué, J., Concellón, A. y Vicente, A. (2015) "UV-C treatments extend the shelf life of fresh-cut peppers by delaying pectin solubilization and inducing local accumulation of phenolics". Food Science and Technology, 63(1), pp.408-414.

Romanazzi, G., Gabler, F. M., & Smilanick, J. L. (2006) "Preharvest chitosan and postharvest UV irradiation treatments suppress gray mold of table grapes". Plant Disease, 90(4), 445-450.

Romanazzi, G., Sanzani, S. M., Bi, Y., Tian, S., Martínez, P. G., & Alkan, N. (2016) "Induced resistance to control postharvest decay of fruit and vegetables". *Postharvest Biology and Technology*, 122, 82-94.

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.

Sanhueza-Celsi, Mauricio & Hector, Cid & Muñoz, Ociel. (2009) "Desarrollo de Metodología para la Extracción Asistida por Microondas de Polifenoles de Semillas de Linaza (*Linum usitatissimum*)". *Cibia VII: Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos*.

Santillo VM, Lowe FC. (2007) "Cranberry juice for the prevention and treatment of urinary tract infections". *Drugs of Today*, 43(1), 47-54.

Santo, D., Graça, A., Nunes, C., & Quintas, C. (2016) "Survival and growth of *Cronobacter sakazakii* on fresh-cut fruit and the effect of UV-C illumination and electrolyzed water in the reduction of its population". *International journal of food microbiology*, 231, 10-15.

Sastry, S. K., Datta, A. K., & Worobo, R. W. (2000) "Ultraviolet Light". *Journal of Food Science*, 65, 90-92.

Schenk, M., García Loredó, A., Raffellini, S., Alzamora, S. M., and Guerrero, S. (2012) "The effect of UV-C in combination with H₂O₂ treatments on microbial response and quality parameters of fresh cut pear discs". *Int. J. Food Sci. Technol.*, 47, 1842-1851.

Schenk, M., Guerrero, S., & Alzamora, S. M. (2008) "Response of some microorganisms to ultraviolet treatment on fresh-cut pear". *Food and Bioprocess Technology*, 1(4), 384-392.

Schiffman R. F. (1990) "Microwave foods: Basic design considerations". *Tappi Journal*, 73,7209-212.

Ścibisz, I.; Mitek, M. (2007) "The changes of antioxidant properties in high bush blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) during freezing and long-term frozen storage". *Acta Sci. Pol. Technol. Aliment.*, 6(4), 75-82.

Scott, G., Rupar, M., Fletcher, A. G. D., Dickinson, M., & Shama, G. (2017) "A comparison of low intensity UV-C and high intensity pulsed polychromatic sources as elicitors of hormesis in tomato fruit". *Postharvest Biology and Technology*, 125, 52-58.

Sepúlveda, Cindy T., & Zapata, José E. (2019) "Efecto de la Temperatura, el pH y el Contenido en Sólidos sobre los Compuestos Fenólicos y la Actividad Antioxidante del Extracto de *Bixa orellana* L". *Información tecnológica*, 30(5), 57-66.

Severo, J., Tiecher, A., Pirrello, J., Regad, F., Latché, A., Pech, J. C., ... & Rombaldi, C. V. (2015) "UV-C radiation modifies the ripening and accumulation of ethylene response factor (ERF) transcripts in tomato fruit". *Postharvest Biology and Technology*, 102, 9-16.

Sharma A.K, Aravindhan S. and Krisnamurthy R. (2001). Microwave glazing of aluminatitania ceramic composite coatings. *Mater Lett*, 50, 295-301.

Shruti Sethi, Alka Joshi, Bindvi Arora. (2018) "Postharvest Disinfection of Fruits and Vegetables". *UV Treatment of Fresh Fruits and Vegetables*, 7, 137-157.

Shukitt-Hale, B.; Lau, F.C.; Carey, A.N.; Galli, R.L.; Spangler, E.L.; Ingram, D.K.; Joseph, J.A. (2008) "Blueberry polyphenols attenuate kainic acid-induced decrements in cognition and alter inflammatory gene expression in rat hippocampus". *Nutr. Neurosci.*, 11, 172-182.

Siemer C., Toepfl S., Heinz V. (2014) "Inactivation of *Bacillus subtilis* spores by pulsed electric fields (PEF) in combination with thermal energy e I. Influence of process- and product parameters". *Food Control* 39, 163-171.

Singleton V.L., Orthofer R.O., Lamuela-Raventos R.M. (1999) "Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin–Ciocalteu reagent". *Methods Enzymol*; 299, 152–178.

Soleno, R. (2015) "Tecnologías no térmicas en el procesamiento y conservación de alimentos vegetales". Una revisión. *Rev. Colomb. Investig. Agroindustriales*, 2(1), 73-83.

Song K., Taghipour F., Mohseni M. (2019) "Microorganisms inactivation by wavelength combinations of ultraviolet light-emitting diodes (UV-LEDs)". *Science of the Total Environment*, 665, 1103–1110.

Srivastava, A., Akoh, C., Yi, W., Fischer, J. y G. Krewer. (2007) "Effect of Storage Conditions on the Biological Activity of Phenolic Compounds of Blueberry Extract Packed in Glass Bottles". *J. Agric. Food Chem*, 55 (7), 2705–2713.

SterilAir Inc. (2015). "Teoría Básica de la Radiación UVC". <http://www.sterilair.com/es/competencia/competencia/basicos-uv.html>

Stevens, C., Khan, V. A., Lu, J. Y., Wilson, C. L., Pusey, P. L., Kabwe, M. K., ... & Droby, S. (1998) "The germicidal and hormetic effects of UV-C light on reducing brown rot disease and yeast microflora of peaches". *Crop Protection*, 17(1), 75-84.

Stückrath, Rosemarie, & Petzold, Guillermo R. (2007) "Formulación de una Pasta Gelificada a Partir del Descarte de Arándanos (*Vaccinium corymbosum*)". *Información tecnológica*, 18(2), 53-60.

Suárez-Ántola R. (2015) "Campos electromagnéticos y salud", *Revista de la Sociedad Científica del Paraguay*, Tercera Época, volumen 20(1), 23-61.

Sudzuki, F. (1983). *Cultivo de frutales menores*. Editorial Universitaria. Santiago, Chile. 184 p

Sui, X., Bary, S. y W. Zhou. (2016) "Changes in the color, chemical stability and antioxidant capacity of thermally treated anthocyanin aqueous solution over storage". *Food Chemistry*, 192 (1), 516–524.

Surjadinata, B. B., Jacobo-Velázquez, D. A., y Cisneros-Zevallos, L. (2017) "UVA, UVB and UVC light enhances the biosynthesis of phenolic antioxidants in fresh-cut carrot through a synergistic effect with wounding". *Molecules*, 22(4), 668.

Suzuki, M., Nakabayashi, R., Ogata, Y., Sakurai, N., Tokimatsu, T., Goto, S., & Matsumoto, S. (2015) "Multi omics in grape berry skin revealed specific induction of stilbene synthetic pathway by UV-C irradiation". *Plant physiology*, 114.

Syamaladevi, R. M., Lupien, S. L., Bhunia, K., Sablani, S. S., Dugan, F., Rasco, B., ... & Ross, C. (2014) "UV-C light inactivation kinetics of *Penicillium expansum* on pear surfaces: influence on physicochemical and sensory quality during storage". *Postharvest Biology and Technology*, 87, 27-32.

Tang, J. (2015) "Unlocking potentials of microwaves for food safety and quality". *J. Food Science*, 80(8), 1776-1793.

Tapia, A., Rodriguez, J., Theoduloz, C., Lopez, S., Feresin, G. E., & Schmeda-Hirschmann, G. (2004) "Free radical scavengers and antioxidants from *Baccharis grisebachii*". *Journal of Ethnopharmacology*, 95, 155-161.

Terao, D., de Carvalho Campos, J. S., Benato, E. A., & Hashimoto, J. M. (2015) "Alternative Strategy on Control of Postharvest Diseases of Mango (*Mangifera indica* L.) by Use of Low Dose of Ultraviolet-C Irradiation". *Food Engineering Reviews*, 7(2), 171-175.

Timberlake, C.F. (1980) "Anthocyanins Occurrence, Extraction and Chemistry" *Food Chem.*, 05 (1), 69-80.

Turtoi, Maria. (2013) "Ultraviolet light treatment of fresh fruits and vegetables surface: A review". *Journal of Agroalimentary Processes and Technology*, 19, 325-337.

US Food and Drug Administration. (2011) "Ultraviolet radiation for the processing and treatment of food". *Code of Federal Regulations*, 21 CFR 179.39.

Usall, J., Ippolito, A., Sisquella, M., & Neri, F. (2016) "Physical treatments to control postharvest diseases of fresh fruits and vegetables". *Postharvest Biology and Technology*.

USDA A.R.S., Nelson S.O., Kraszewski A. W., Trabelsi S. (2000) Phase-shift ambiguity in

microwave dielectric properties measurements. IEEE transactions on instrumentation and measurement 49, 56-60.

Vanderzant C and Splittstoesser DF. (1992) "Compendium of methods for the microbiological examination of foods". Third Edit American Public. Health Association, Whashington D.C., USA.

Vargas A, Perez J, Zoffoli JP, Perez A.(2001) "Comparación de variables de textura en la medición de firmeza de bayas de uva Thompson Sedles". Cien. Inv. Agr., 28, 37-42.

Vásquez, S.; Guillen, R.; Jaramillo, S.; Jimenez, A.; Rodríguez, R. (2012). Funcionalidad de distintas variedades de arándanos. VII Congreso Español de Ingeniería de Alimentos. Universidad de Castilla - La Mancha. España.

Vázquez, D.E., Heredia, A.M., Almirón, N., Bello, F. (2010). "Comportamiento postcosecha de nuevas variedades de arándanos (*Vaccinium corymbosum* L) cultivadas en Entre Ríos". Libro de Resúmenes XXXIII Congreso Argentino de Horticultura, Rosario, Santa Fe, 136.

Velásquez Valderrama, Á. M., & Sánchez Arenas, R. L. (2008) "Utilización de microondas en el tratamiento de jugo de mango". Lasallista de investigación, 5(2), 13-19.

Velázquez, P.D.; Carbajo, M.S.; Farías, M.F; Torres Leal, G.J. (2010) "Comportamiento de seis variedades de arándano frente a la podredumbre de poscosecha causada por *Alternaria tenuissima*, en los departamentos Monteros y Chicligasta (Tucumán)". Libro de Resúmenes XXXIII Congreso Argentino de Horticultura, Rosario, Santa Fe, 141.

Velázquez, P.D.; Farías, M.F.; Avila, A.E.; Torres Leal, G.J. (2009) "Incidencia de la podredumbre causada por *Alternaria tenuissima* en variedades de arándano cosechadas en diferentes momentos en el área de Monteros (Tucumán)". Libro de Resúmenes XIII Jornadas Fitosanitarias Argentinas, Las Termas de Río Hondo, Santiago del Estero, 107.

Velázquez, P.D.; Torres Leal, G.J.; Farías, M.F.; Lassalle, E.L. (2008) "Comportamiento de variedades de arándano frente a podredumbres de frutos en poscosecha y su relación con la firmeza de la epidermis". Libro de Resúmenes del 1º Congreso Argentino de

Fitopatología, Córdoba, 220.

Verdaguer D., Jansen, A.K.J., Llorens L. Morales, L., Neugart, S., (2017) "UV-A radiation effects on higher plants: exploring the known unknown". *Plant Science*, 225, 72-81.

Vicente, A. R., Pineda, C., Lemoine, L., Civello, P. M., Martinez, G. A. y Chaves, A. R. (2005) "UV-C treatments reduce decay, retain quality and alleviate chilling injury in pepper". *Postharvest Biology and Technology* 35(1), 69-78.

Villacorta, L., Pretell, C. (2013) "Irradiación UV-C en frutas tropicales mínimamente procesadas". *Scientia Agropecuaria*. En línea. Disponible en: <http://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4657861.pdf>.

Villamiel, Mar. (2006) "Tratamiento de alimentos con microondas". Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). URL disponible en: <http://www.consumaseguridad.com/cienciay-tecnologia/2006/04/05/23073.php>

Vollmannová A, Tóth T, Urminská D, Poláková Z, Timoracká M, Margitanová E. (2009). Anthocyanins Content in Blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) in Relation to Freezing Duration, 27, 204–206.

Wang C.Y., Chen C., Wang S.Y. (2009) "Changes of flavonoid content and antioxidant capacity in blueberries after illumination with UV-C". *Food Chemistry* 117, 426–431.

Wang S.Y. and Lin H.S. (2000). "Antioxidant activity in fruits and leaves of black-berry, raspberry, and strawberry varies with cultivar and developmental stage". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 140-146.

Wang S.Y., Chen C.T., Sciarappa W., Wang C.Y. and Camp M.J. (2008) "Fruit quality, antioxidant capacity, and flavonoid content of organically and conventionally grown blueberries". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 5788- 5794.

Wei Yuan, Lijing Zhou, Guangrui Deng, Ping Wang, David Creech and ShiyuLi. (2011) "Anthocyanins, Phenolics, and Antioxidant Capacity of *Vaccinium* L. in Texas, USA". *PharmaceuticalCrops*, 11-23.

Wojciech J. Janisiewicz, Fumiomi Takeda, D. Michael Glenn, Mary J. Camp, and Wayne M. Jurick II. (2016) "Dark Period Following UV-C Treatment Enhances Killing of Botrytis cinerea Conidia and Controls Gray Mold of Strawberries". *Postharvest Pathology and Mycotoxins*, 106(4), 386-94.

Xu, A., Zhan, J. C., & Huang, W. D. (2015) "Effects of ultraviolet C, methyl jasmonate and salicylic acid, alone or in combination, on stilbene biosynthesis in cell suspension cultures of *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon". *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 122(1), 197-211.

Yan, R.; Mattheis, J.; Gurtler, J.; Sites, J.; Fan, X. (2014) "UV-C inactivation of *Escherichia coli* and dose uniformity on apricot fruit in a commercial setting". *Postharvest Biol. Technol*, 95, 46-49.

Yao L.H., Jung Y.M., Tomas-Barberán F.A., Datta N., Singanusong R., Chen S.S. (2004) "Flavonoids in food and their health benefits". *Plant Foods Hum. Nutr*, 59, 113-122.

Yaun, B. R. (2002) "Efficacy of Ultraviolet Treatments for the Inhibition of Pathogens on the Surface of Fresh Fruits and Vegetables". Tesis de Maestría en Ciencias. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg VA, Estados Unidos.

Yaun, B. R., Sumner, S. S., Eifert, J. D., & Marcy, J. E. (2004) "Inhibition of pathogens on fresh produce by ultraviolet energy". *International journal of food microbiology*, 90(1), 1-8.

Yu, G., Luan, Y. S., & An, L. J. (2013) "Effects of UV-C Treatment on Fresh-keeping and Storage Quality of Blueberry". *Food Research and Development*, 2, 029.

Zapata L. M., Heredia A. M., Quinteros C. F., Malleret A. D., Clemente G., Cárcel J. A. (2014) "Optimización de la extracción de antocianinas de arándanos". *Cienc. docenciatecnol.*, 49, 166-192.

Zapata, J.E. y A. Montoya. (2012) "Deshidratación Osmótica de Láminas de Mango cv. Tommy Atkins Aplicando Metodología de Superficies de Respuesta". *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín*, 65(1), 6507-6518.

Zapata, L.; Malleret, A. D.; Lesa, C.E.; Rivadeneira, MF (2010) "Estudio sobre cambios de la firmeza de bayas de arándanos durante su maduración". *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 41: 159-171.

Zhao Y. et al. (2017) "Retention of polyphenols in blueberries (*Vaccinium corymbosum*) after different cooking methods. using UHPLC–DAD–MS based metabolomics". *Journal of Food Composition and Analysis*, 56, 55-66.

Zhou D, Wang Z, Tu S, Chen S, Peng J, Tu K. (2019) "Effects of cold plasma, UV-C or aqueous ozone treatment on *Botrytis cinerea* and their potential application in preserving blueberry". *J Appl Microbiol.*, 127(1), 175-185.

Zielinska M and Michalska A. (2016) "Microwave-assisted drying of blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) fruits: Drying kinetics, polyphenols, anthocyanins, antioxidant capacity, colour and texture". *Food Chemistry*; 212, 671-680.

Zuritz CA, et al. (2005) "Density, viscosity and coefficient of thermal expansion of clear grape juice at different soluble solid concentrations and temperaturas". *Journal of Food Engineering*; 71, 143-149.