



**UNCUYO**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO



**FCA**  
FACULTAD DE  
CIENCIAS AGRARIAS

# REDISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN EQUIPO DE RADIACIÓN ULTRAVIOLETA DE ONDA CORTA PARA ALIMENTOS DE ORIGEN VEGETAL

TESIS DE GRADO  
LICENCIATURA EN BROMATOLOGÍA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO  
ALMIRANTE BROWN 500. CHACRAS DE CORIA - LUJÁN DE CUYO

**Tema:** “Rediseño y evaluación de un equipo de radiación UV-C para alimentos de origen vegetal”

**Autor:** Brom. Vanesa Martín

**Dirección postal:** B° Arenales MB C5, Rivadavia Mendoza

**Correo electrónico:** martinvanesan@gmail.com

**Directora:** Dra. Adriana Giménez

**Codirectora:** Bqca. Silvina Farrando

**Miembros del Comité evaluador:**

- Presidente: MSc. Ma. Laura Sánchez
- Vocales: Dra. Daniela Locatelli  
Lic. Adriana Tarquini

## RESUMEN

En la búsqueda por utilizar nuevas alternativas en la conservación de alimentos y dar uso a equipamientos disponibles, se rediseñó un equipo de radiación ultravioleta para estudiar su efectividad en la reducción de la carga microbiana que se encuentra sobre la superficie de los vegetales.

Con este objetivo se procedió a realizar mejoras físicas a un equipo cambiando materiales, reduciendo distancias (0,27m a 0,17m), renovando el tipo de lámpara y la ubicación de estas.

Se comprobó la eficiencia utilizando un cultivo de microorganismos aerobios mesófilos obtenidos a partir de cáscaras de naranja en caldo nutritivo, sembrado un total de 60 cajas de Petri a distintas diluciones ( $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$ ) que se distribuyeron en grupos los cuales se sometieron a distintos tiempos de exposición (1,3 y 5 minutos).

Los recuentos testigos arrojaron una población de microorganismos de  $10^8$  ufc/ml en el momento inicial las cuales se redujeron a menos de 10 ufc/ml en tan solo el primer minuto de exposición. Se puede concluir que la **aplicación** de la radiación ultravioleta de onda corta **aplicada** en superficie con los parámetros estandarizados logró exitosamente una reducción microbiana de 8 grados logarítmicos en los tiempos de 1,3 y 5 minutos.

## INDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>5</b>
1.1 GENERALIDADES EN LA CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS .....	5
1.1.1 Uso de UV en alimentos sólidos .....	6
1.1.2 Ventajas y desventajas en la aplicación de UV .....	6
1.2 LA LUZ ULTRAVIOLETA.....	7
1.3 EQUIPOS UV-C PARA ALIMENTOS SÓLIDOS.....	9
1.4 FACTORES CRÍTICOS DE LA LUZ UV-C SOBRE LA INACTIVACIÓN MICROBIANA .....	12
1.5 ASPECTOS REGLAMENTARIOS .....	20
1.5.1 Código Alimentario Argentino .....	20
1.5.2 Ley de Higiene y Seguridad en el Trabajo .....	20
1.5.3 Food and Drug Administration (FDA) Estados Unidos .....	20
1.5.4 Codex Alimentarius. Unión Europea .....	21
<b>2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....</b>	<b>21</b>
2.2 OBJETIVOS PARTICULARES .....	22
2.3 HIPÓTESIS .....	22
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>22</b>
3.1 EVALUACIÓN DEL EQUIPO DE UV- C AL MOMENTO INICIAL .....	22
3.2 REDISEÑO Y REFUNCIONALIZACIÓN DEL EQUIPO UV-C.....	24
3.3 DETERMINACION MICROBIOLÓGICA .....	24
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>29</b>
<b>5. DISCUSIÓN.....</b>	<b>40</b>
<b>6. CONCLUSIÓN.....</b>	<b>41</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>42</b>

## INDICE DE GRÁFICOS

<b>Ilustración 1:</b> Componente UV en el espectro de radiación electromagnética .....	8
<b>Ilustración 2:</b> Dimerización de timina en microorganismos irradiados con luz UV .....	9
<b>Ilustración 3:</b> Tambor rotatorio con 32 lámparas UV-C para uso alimentario (Reyco Systems 2016).....	10
<b>Ilustración 4:</b> Tambor rotatorio con banda transportadora y lámparas UV-C para uso alimentario (Thomas Publishing Company, 2003).....	10
<b>Ilustración 5:</b> Túneles con radiación UV-C para uso alimentario (Daro UV Systems LTD, 2010) .....	11
<b>Ilustración 6:</b> Túnel de 16 lámparas de UV-C para uso alimentario (at Alibaba.com, 2019) .....	11
<b>Ilustración 7:</b> Equipo medidor de potencia UV-C.....	23
<b>Ilustración 8:</b> Medio de cultivo a partir de cáscaras de naranja .....	25
<b>Ilustración 9:</b> Representación de las diluciones realizadas a partir del medio de cultivo	26
<b>Ilustración 10:</b> Grupo representativo de la manera que se colocaban las muestras antes de ingresar al equipo de UV-C. Muestras testigo e irradiada, por duplicado. ....	28
<b>Ilustración 11:</b> Muestras testigo e irradiada en proceso, vista desde el interior del equipo UV-C.....	28
<b>Ilustración 12:</b> Interior del equipo UVC al momento inicial visto de frente .....	31
<b>Ilustración 13:</b> Interior del equipo UVC con distintos puntos de referencia al cual se tomaron medidas de radiación.....	32
<b>Ilustración 14:</b> Exterior del equipo con las mejoras realizadas .....	33
<b>Ilustración 15:</b> Interior del equipo en donde se observa las 7 lámparas adyacentes en la parte superior y la superficie de apoyo. ....	34
<b>Ilustración 16:</b> Valores de radiación en el interior del equipo UV-C al momento final comparados con los del momento inicial.....	35
<b>Ilustración 17:</b> Medidas de radiación de cada lámpara antes y después del rediseño del equipo.....	36
<b>Ilustración 18:</b> Medidas de radiación obtenidas en distintos puntos en el interior del equipo, momento inicial y final.....	38
<b>Ilustración 19:</b> Cantidad de microorganismos aerobios mesófilo cuando se someten a distintos tiempos con radiación UV-C .....	39

**Ilustración 20:** Muestras de microorganismos, lado izquierdo el testigo irradiado un minuto con UV-C y del lado derecho el testigo cubierto antes de someterse a radiación. .... 40

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Irradiancia de distintos tubos combinando potencias y tiempos para alcanzar la mínima dosis .....	12
<b>Tabla 2:</b> Dosis de UV-C ( $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$ ) para inactivación de 1Log (90%) o 2 Log (99%) de población microbiana.....	15
<b>Tabla 3:</b> Representación gráfica de la cantidad de pruebas realizadas en cajas de Petri con microorganismos aerobios mesófilos .....	27
<b>Tabla 4:</b> Medidas de radiación a cada lámpara a 0,17m al momento inicial y a 0,17m al momento final con todos los cambios. ....	36
<b>Tabla 5:</b> Radiación de UV-C en distintos puntos del equipo, antes y después del rediseño. ....	37
<b>Tabla 6:</b> Influencia de la radiación ultravioleta sobre microorganismos aerobios mesófilo.	39

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 GENERALIDADES EN LA CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS

Los distintos métodos de conservación de alimentos pretenden incrementar la vida útil de los productos durante su almacenamiento, aplicando técnicas que logren impedir alteraciones microbiológicas pero manteniendo la calidad. La eficacia de estos métodos depende principalmente del cuidado de la higiene durante su producción, siendo su objetivo disminuir la carga microbiana y evitar su desarrollo. Para tal fin muchos productos son tratados térmicamente, técnica que muchas veces modifica las características, tanto sensoriales (textura, sabor y color), como nutricionales (pérdidas de vitaminas, principalmente) del alimento. Debido a estos efectos adversos del tratamiento a altas temperaturas, se encuentran en desarrollo procesos no térmicos de conservación, también denominados tecnologías suaves. Son poco agresivos y tienen la ventaja de ofrecer productos semejantes a los frescos y por lo tanto acorde con las demandas actuales del mercado, pero sin perder sus garantías en materia de inocuidad.

Hace varios años se están investigando los efectos de la luz sobre bacterias y otros organismos, lo que comenzó a partir del concepto del daño celular causado por la incidencia de la radiación solar sobre organismos vivos. Posteriormente se estudió el efecto producido por radiaciones monocromáticas del espectro ultravioleta (UV). Las aplicaciones de este método comenzaron alrededor de 1901 cuando se logró producir luz artificialmente. Esta técnica se emplea para desinfectar aire, agua y superficies de materiales con posible contaminación biológica (virus, bacterias, esporas, mohos, levaduras) **(González, 2001; Guerrero-Beltrán y Barbosa-Cánovas 2018)**.

En la industria de alimentos se utiliza para desinfectar (entre 250-270nm) cintas transportadoras, láminas y tapas de cierre, envases, superficies de algunos alimentos sólidos entre los que se pueden mencionar frutas, verduras, pescados y líquidos como jugos y agua. Asimismo se emplea en acuicultura por ejemplo para protección del flujo y de la recirculación en acuarios de agua dulce o salada. En la actualidad el sistema más utilizado es continuo. Se compone de emisores de radiación encendidos en forma permanente que aplican luz UV sobre productos líquidos o sólidos. El principal uso de la técnica es el tratamiento de agua y se busca que también se aplique de igual manera sobre alimentos sólidos **(Alimentos Argentinos – MinAgri, 2009)**

### 1.1.1 Uso de UV en alimentos sólidos

Al aplicar radiación UV-C en vegetales, adicionalmente a la reducción de la carga microbiana inicial en superficie, se produce un fenómeno denominado efecto hormético (fenómeno de estimulación a bajas dosis de una sustancia y de inhibición a altas dosis) **(Stevens et al., 1997, 1999)**.

Dicho efecto puede mejorar la resistencia al ataque de ciertos microorganismos como mohos y levaduras, ya que puede estimular la producción de fenilalanina amonía-liasa que induce la formación de compuestos fenólicos (fitoalexinas), tóxicos para ellos **(Stevens et al., 1997, 1999)**.

Debido a la efectividad de la luz ultravioleta como agente desinfectante se han realizado diversas investigaciones para ampliar sus usos en la industria alimentaria, como por ejemplo en frutas para consumo en fresco, en las frutas frescas cortadas como productos de cuarta (IV) gama; por lo cual es necesario mencionar los factores críticos del proceso, las diferencias en los equipos, las condiciones experimentales de los estudios realizados y la variedad de sustratos utilizados que condicionan la efectividad de la luz ultravioleta sobre los microorganismos. Otro grupo con potencial de ser utilizado es el de las harinas y cereales, donde la luz UV podría reducir la carga microbiana, especialmente la descontaminación de patógenos como *Bacillus cereus* **(Domínguez L. y Parzanese M., 2011)**.

También es importante su aplicación en aquellos productos que no poseen en su proceso alguna etapa de reducción de microorganismos, como el tratamiento térmico. Si bien existen diferencias en las condiciones de estudio, se han arrojado conclusiones que podrían servir como modelo para futuras investigaciones en este campo.

### 1.1.2 Ventajas y desventajas en la aplicación de UV-C

#### Ventajas

- No produce alteraciones organolépticas en la mayor parte de los alimentos.



- Método físico en el cual la energía es el medio germicida, sin generar productos secundarios indeseables.
- El tratamiento no produce residuos químicos ni radiación.
- Es efectivo para desinfección de diversas superficies.
- Es eficaz para la inactivación de muchos microorganismos
- Es de fácil aplicación.
- Bajo costo y mantenimiento.

#### Desventajas

- Los organismos que se encuentran rodeados por sólidos (partículas, polvo o cubiertas) no son afectados.
- Poca penetración en materiales sólidos y en líquidos no transparentes.
- El personal que se exponga de manera prolongada a la radiación UV-C puede sufrir daños a la vista y sufrir quemaduras.
- La unidad o equipo de UV- C se debe colocar tan cerca como sea posible al producto a tratar.

**(Domínguez L. y Parzanese M., 2011)**

## 1.2 LA LUZ ULTRAVIOLETA

La luz ultravioleta es la radiación electromagnética con longitud de onda más corta que la luz visible y más larga que los rayos X, permaneciendo invisibles para el ojo humano.

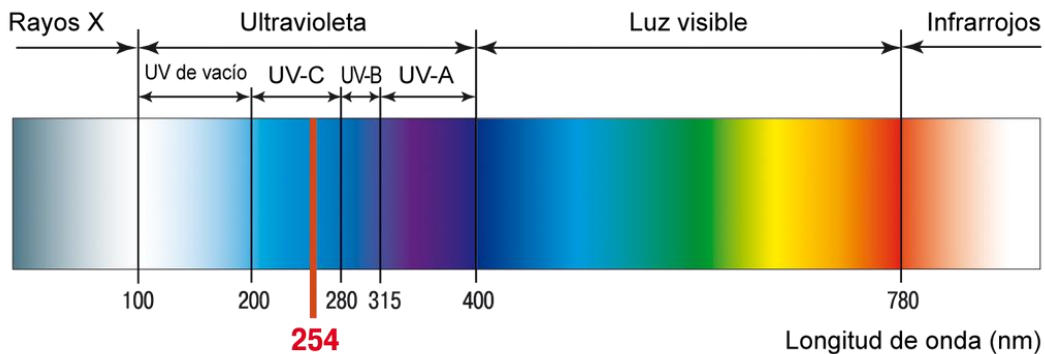
El uso de la tecnología UV con fines de desinfección involucra a la región ultravioleta del espectro electromagnético con un rango de longitud de onda entre 100 y 400 nm. Éste puede subdividirse en:

- \_ UV-A (315-400 nm)
- \_ UV-B (280-315 nm)
- \_ UV-C (200-280 nm) y
- \_ Vacío-UV (100-200 nm) (a veces considerada UV-C o UV-Extremo).

**(González, 2001; Guerrero-Beltrán y Barbosa-Cánovas 2004)**

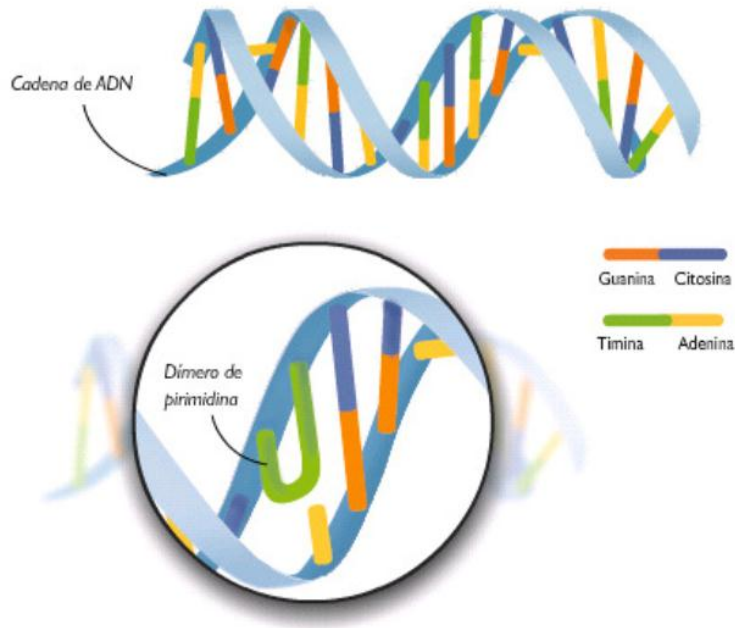
La luz UV-C posee el mayor efecto germicida, entre 250 y 270 nm, y la máxima eficiencia para la desinfección se sitúa específicamente a 254 nm, es una forma de radiación no ionizada que no penetra más allá de las superficies. **(Christen et al. 2013)**

El componente UV en el espectro de radiación electromagnética se presenta en la ilustración 1 **(Russell 2010)**.



*Ilustración 1: componente UV en el espectro de radiación electromagnética*

La radiación UV- C produce cambios fotoquímicos, cuyos efectos pueden variar según la especie de microorganismo que se trate. El mecanismo de acción letal depende de su absorción por el ADN, pudiendo detener el crecimiento celular y provocar la muerte.



*Ilustración 2: Dimerización de timina en microorganismos irradiados con luz UV*

La radiación absorbida por los nucleótidos produce cambios físicos de electrones, formando uniones cruzadas entre timina y citosina, (nucleótidos de bases *pirimidínicas*) pertenecientes a la misma cadena, lo que provoca la formación de dímeros *ciclobutil pirimidina* (Ilustración 2). 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 luz UV (**Snowball y Hornsey, 1988; Sastry et al., 2000**).

### 1.3 EQUIPOS UV-C PARA ALIMENTOS SÓLIDOS

A continuación se presentan algunos de los equipos con que se trabaja en la industria alimentaria

Reyco Systems Inc. (Meridian, Idaho) propone un equipo que permite procesar más de 6 toneladas de producto por hora, en forma de tambor rotatorio con 32 lámparas UV-C de mercurio de baja presión (60 a 70 W) (Ilustración 3). Estos tambores logran una reducción de 3 log (99,9 %) de la contaminación microbiológica inicial. El equipo con estas

especificaciones es actualmente utilizado por Washington Potato Co, que la utiliza para papas que luego son reprocesadas (**Antonio-Gutiérrez et al., 2012; Scheir, 2009**).



*Ilustración 3: Tambor rotatorio con 32 lámparas UV-C para uso alimentario (Reyco Systems 2016)*

C&S Equipment Co. propone otro tambor rotatorio, (Ilustración 4) además de una banda transportadora, para permitir el movimiento del alimento (frutas, carnes y hasta productos congelados) y su correcta exposición a la radiación. Utiliza lámparas UV-C de Steril Aire Inc (Burbank, California), que operan a entre 70 y 85 W (**Antonio-Gutiérrez et al., 2012**).



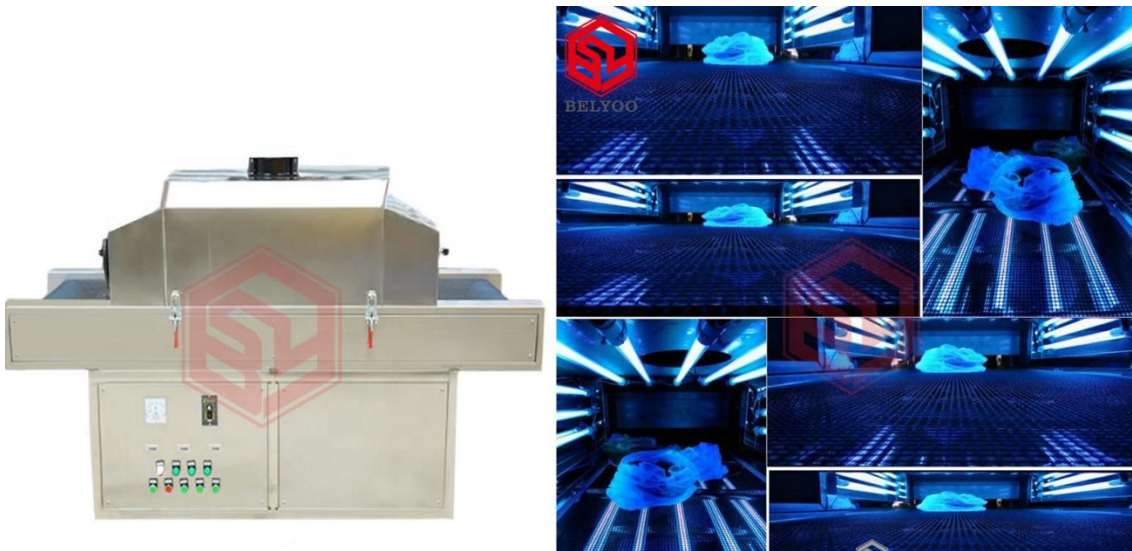
*Ilustración 4: Tambor rotatorio con banda transportadora y lámparas UV-C para uso alimentario (Thomas Publishing Company, 2003)*

Túneles de descontaminación para frutas, carnes y pan. La empresa DARO UV SYSTEMS LTD (UK) fabrica estos túneles a la medida del productor (Ilustración 5). Otra empresa que fabrica estos túneles a medida es la estadounidense DDK Scientific Corporation, cuyos principales clientes son compañías panificadoras y frutícolas. (**Antonio-Gutiérrez et al., 2012**).



*Ilustración 5: Túneles con radiación UV-C para uso alimentario (Daro UV Systems LTD, 2010)*

Belyoo Machinery propone un túnel de acero inoxidable 304 modelos BY-XJJ, tamaño 200x75x145 cm con cintas transportadoras de 70 cm, cuenta con 16 lámparas de 40W, distribuidas en todo el contorno al producto logrando una eficiencia del 99 al 99,9% (Ilustración 6). Aplicaciones: huevos, mariscos, productos lácteos, pickles, golosinas, frutas, verduras, productos cárnicos, especias, equipo de tratamiento de agua, equipo de procesamiento y embalaje de alimentos, cosméticos, fábrica lechera, bebidas, panaderías y congelador. **(Alibaba.com, 2019)**



*Ilustración 6: Túnel de 16 lámparas de UV-C para uso alimentario (at Alibaba.com, 2019)*

## 1.4 FACTORES CRÍTICOS DE LA LUZ UV-C SOBRE LA INACTIVACIÓN MICROBIANA

La eficiencia de esta tecnología dependerá de muchos factores intrínsecos y extrínsecos del alimento, afectando la acción antimicrobiana y conservante de este método.

### ➤ Tipo de lámpara

La luz ultravioleta es producida de manera artificial por lámparas de vapor de mercurio, de las que existen varios tipos dependiendo del uso y la potencia necesaria.

Las lámparas típicamente usadas para la desinfección con UV-C consisten en tubos de cuarzo que contienen un gas inerte en su interior, como argón y pequeñas cantidades de mercurio. **(Pombo 2009).**

En el siguiente cuadro, se presenta las irradiancias de tubos de 15, 30 y 36 Watt y los tiempos necesarios para llegar a la dosis mínima de  $10.000 \mu W/cm^2$  según la distancia de la lámpara al alimento **(Alimentado, 2017).**

*Tabla 1: Irradiancia de distintos tubos combinando potencias y tiempos para alcanzar la mínima dosis*

Distancia a la lámpara en cm	Factor de intensidad	Irradiancia	Tiempo para inactivar bacterias	Irradiancia	Tiempo para inactivar bacterias	Irradiancia	Tiempo para inactivar bacterias
		Tubo de 15 W $\mu W/cm^2$	Seg	Tubo de 30 W $\mu W/cm^2$	Seg	Tubo de 36 W $\mu W/cm^2$	Seg
0	354	13098	0.76	29382	0.34	33276	0.30
2.5	127	4699	2.13	10541	0.95	11938	0.84
5	69	2553	3.92	5727	1.75	6486	1.54
10	32	1184	8.45	2656	3.77	3008	3.32
15	20	740	13.51	1660	6.02	1880	5.32
20	14	518	19.31	1162	8.61	1316	7.60
25	14	518	19.31	1162	8.61	1316	7.60
38	6	222	45.05	498	20.08	564	17.73
50	4	148	67.57	332	30.12	376	26.60
64	3	111	90.09	249	40.16	282	35.46
76	2	74	135.14	166	60.24	188	53.19
88	1.4	51.8	193.05	116.2	86.06	131.6	75.99
100 cm (1m)	1	37	270.27	83	120.48	94	106.38

Fuente: **Alimentado. (2017).**

Tabla 2: Conversión de unidades de irradiancia

	kW/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	mW/m <sup>2</sup>	mW/cm <sup>2</sup>	μW/cm <sup>2</sup>
1 kW/m <sup>2</sup>	1	10 <sup>3</sup>	10 <sup>6</sup>	100	10 <sup>5</sup>
1 W/m <sup>2</sup>	10 <sup>-3</sup>	1	10 <sup>3</sup>	0,1	100
1 mW/m <sup>2</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-3</sup>	1	10 <sup>-4</sup>	0,1
1 mW/cm <sup>2</sup>	0,01	10	10 <sup>-4</sup>	1	10 <sup>3</sup>
1 μW/cm <sup>2</sup>	10 <sup>-5</sup>	0,01	0,1	10 <sup>-3</sup>	1

➤ Dosis de destrucción microbiana

El número de microorganismos inactivado depende principalmente de la dosis pudiéndose compensar un menor tiempo de exposición con una mayor 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**).

La mayoría de las bacterias requieren en general dosis 10.000 μWs/cm<sup>2</sup> a 254 nm para su inactivación completa (99,99 %). Vale recordar que pese a ser una tecnología aplicable a muchos alimentos, es necesario tener en cuenta la composición de cada producto, ya que se requieren dosis distintas de radiación UV-C según la matriz propia del alimento. (**Mani, 2003**)

La radiación emitida se mide en Watts (W) y la intensidad de la radiación en W/m<sup>2</sup>. Para una desinfección eficaz es importante conocer la dosis de radiación necesaria para reducir la carga del microorganismo, la cual es el producto entre la intensidad de la radiación (I), expresada como energía por unidad de área y el tiempo de residencia o contacto con la luz UV (t) en segundos. La dosis (D) se mide en J/m<sup>2</sup> (1 Joule = 1 Watt x segundo):

$$D \text{ (J/m}^2\text{)} = I \text{ (W/m}^2\text{)} \times t \text{ (s)}.$$

También suele expresarse en  $\mu\text{J/cm}^2 = \mu\text{Ws/cm}^2$

La resistencia de los organismos a la luz ultravioleta es variable. El ambiente en el que se encuentran también influye en la dosis necesaria para su destrucción.

La relación entre la dosis y la destrucción de un microorganismo por tratamiento con luz UV puede verse de la siguiente forma:

$$N = N_0 e^{-kD}$$

Donde:

$N_0$  = Número inicial de microorganismos

$N$  = Número de microorganismos después del tratamiento

$K$  = Constante de velocidad de inactivación

$D$  = Dosis

**(Mani, 2003)**

Según la relación anterior, si se duplica la dosis aplicada, la destrucción de microorganismos aumentará en un factor de 10. Por lo tanto al duplicar la dosis requerida para la destrucción del 90%, se reducirá el 99% de los microorganismos. Si se triplica la dosis, la reducción producida será 99,9% y así sucesivamente.

A continuación se muestra un cuadro en el cual se presentan distintas dosis para cada microorganismo **(Munakata et al., 1991)**.



Tabla 3: Dosis de UV-C ( $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$ ) para inactivación de 1Log (90%) o 2 Log (99%) de población microbiana

Microorganismos	1Log	2Log	Microorganismos	1Log	2Log
<b>BACTERIAS</b>					
<i>Bacillus anthracis</i>	4500	8700	<i>Vibrio cholerae (V.comma)</i> <sup>6</sup>	X	6500
<i>Bacillus subtilis, esporas</i>	12000	22000	<i>Yersinia enterocolitica</i> <sup>5</sup>	1100	X
<i>Bacillus subtilis</i>	7100	11000	Coliformes fecales	3400	6800
<i>Campylobacter jejuni</i> <sup>5</sup>	1100	X			
<i>Clostridium tetani</i> <sup>1</sup>	12000	22000	<b>VIRUS</b>		
<i>Corynebacterium diphtheriae</i> <sup>1</sup>	3400	6500	MS-2 Coliphage <sup>5</sup>	18600	X
<i>Escherichia coli</i>	3000	6600	F-especifica bacteriophage <sup>2</sup>	6900	X
<i>Klebsiella terrigena</i> <sup>5</sup>	2600	X	Hepatitis A <sup>5,6</sup>	7300	X
<i>Legionella pneumophila</i> <sup>4</sup>	900	2800	Influenza virus <sup>2</sup>	3600	6600
<i>Sarcina lutea</i>	20000	26400	Polio virus <sup>5,6</sup>	5770	X
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	6000	10000	Rotavirus <sup>5,6</sup>	8110	X
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> <sup>6</sup>	5500	10500			
<i>Salmonella enteritidis</i>	4000	7600	<b>PROTOZOARIOS</b>		
<i>Salmonella paratyphi</i> <sup>3</sup>	3200	X	<i>Giardia lamblia</i>	1100	8100
<i>Salmonella typhi</i> <sup>5</sup>	2100	X	<i>Cryptosporidium parvum</i>	2500	21700
<i>Salmonella typhimurium</i>	3000	6000			
<i>Shigella dysenteriae</i>	2200	4200	<b>ALGAS</b>		
<i>Shigella flexneri (paradysenteriae)</i>	1700	3400	Azul-verde <sup>1,3</sup>	300000	600000
<i>Shigella sonnei</i> <sup>5</sup>	3000	X	<i>Chlorella vulgaris</i> <sup>1,2</sup>	12000	22000
<i>Staphylococcus aureus</i>	5000	6600			
<i>Streptococcus faecalis</i> <sup>5</sup>	4400	X	<b>LEVADURA</b>		
<i>Streptococcus pyogenes</i>	2200	X	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> <sup>1</sup>	7300	13200

Fuente: H. B. Wright y W. L. Cairns. (1998).

➤ Microorganismos

En la tabla 2, se muestra que cada especie microbiana tiene un grado de resistencia característico a la radiación ultravioleta de onda corta, factor que depende de la fase de crecimiento y del estado fisiológico de las células microbianas.

La exposición a los rayos ultravioleta destruye las células vegetativas, en general en un mismo rango de tiempo, aunque algunas especies necesitan un tiempo cinco veces superior

al necesario para que sean destruidas. La formación de cápsulas y el agrupamiento de las bacterias aumentan su resistencia a la radiación UV-C.

Como norma general se aplica lo siguiente: cuanto más simple esté estructurado el microorganismo, menos problemático será inactivarlo mediante la radiación UV-C. Por tanto, los virus y bacterias se pueden destruir mucho más fácilmente que los microorganismos complejos, como las levaduras y hongos vegetativos. En general la resistencia a la irradiación UV-C está en el orden: Gram negativos < Gram positivos < virus < levaduras < esporas bacterianas < hongos **(Adams y Moss 1995)**.

➤ Tiempo de acción

El tiempo de aplicación de UV-C oscila entre 1 y 5 minutos, período que no incrementa significativamente la temperatura del tejido (1-3°C), ni produce alteraciones o favorece los procesos deteriorativos del producto **(Rivera-Pastrana et al. 2007)**.

Sin embargo, González-Aguilar et al. (2007a) estudiaron el efecto de diversos tiempos de exposición a luz UV-C en mangos variedad “Haden” enteros, utilizando tiempos de 5 y 10 minutos de irradiación. La energía total por estos tiempos de tratamientos fue de 2,46 y 4,93 kJ/m<sup>2</sup> respectivamente, donde la fruta tratada durante 10 minutos se mostró mejor conservada que la fruta tratada durante cinco minutos.

A su vez, Manzocco et al. (2011b) describieron el efecto de la luz UV-C en la descontaminación de la superficie de corte de manzanas (*Malus domestica Borkh*) “Pink Lady” frescas cortadas, donde utilizaron un tiempo de 10, 5 y 1 min. Observándose un efecto germicida similar cuando el tiempo de exposición se redujo. Este resultado indicó que los tratamientos de intensidad leve de luz UV-C a tiempos entre 1 y 5 minutos son suficientes para impartir el efecto germicida para los microorganismos indicadores de contaminación (entre 1 y 2 ciclos log).

También, Perkins-Veazie et al. (2007) estudiaron el efecto de la luz UV-C en arándanos enteros (como tratamiento pos cosecha) con tiempos de exposición que variaron de 1 a 15 minutos, obteniendo dosis de irradiación de 1, 2 y 4 kJ/m<sup>2</sup>; describiéndose que la dosis con

mayor efectividad es la de 2 kJ/m<sup>2</sup>, puesto que logra reducir eficazmente una enfermedad primaria presente en dos variedades de arándanos.

El tiempo de exposición a la luz ultravioleta dependerá no solo de la dosis que se desea alcanzar, sino de la capacidad del fruto para resistir este tratamiento (si posee una cutícula gruesa, cera protectora, superficie lisa o rugosa, entre otras). **(Millán Villarroel et al, 2015)**

- 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 distancia es inversamente proporcional a la intensidad **(Suárez 2001)**.

Márquez y Pretell (2013) reportaron la utilización de distancias de 12,5 cm en el tratamiento de mango (*Mangifera indica* L.) variedad “Kent”, piña (*Ananas comosus*) variedad “Golden” y Mamey (*Mammea americana*) mínimamente procesados. Utilizaron para mangos enteros de variedad “Haden” una distancia de 15 cm.

Fonseca y Rushing (2006), estudiaron el efecto de la luz UV-C en la calidad y población microbiana de la sandía recién cortada, en la cual utilizaron 15 cm y todos ellos obtuvieron una reducción decimal de 1 log UFC/g.

- Composición del fruto

La constitución del objeto o material que es irradiado, influye de forma muy importante en la eficacia del tratamiento **(Suárez 2001)**.

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 el efecto sombra no logre inactivar ciertas células microbianas, afectando así el efecto germicida. Por otra parte, la exposición a luz UV-C promueve la modificación de la estructura celular de la fruta conduciendo a la ruptura de las membranas de las células y a

la deshidratación progresiva de la muestra, según el estudio realizado por Manzocco et al. (2011a) en frutas como melón, manzana y piña.

**La posibilidad de utilizar la luz UV-C como tecnología para extender la vida útil de las frutas frescas cortadas dependerá de la disponibilidad de información sólida sobre los límites que conducen a efectos de conservación de aquellos que imparten un agotamiento de la calidad (Manzocco et al. 2011b)**

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, que puede correlacionarse con aumentos en los contenidos de fenoles y flavonoides totales, conservando así, por más tiempo el producto **(González-Aguilar et al. 2007b)**.

➤ Hormesis – cambios bioquímicos

La hormesis por efecto de la luz ultravioleta en las frutas y hortalizas frescas ha sido objeto de numerosos estudios en los últimos años **(Shama 2007)**.

Cada banda de la UV-C puede inducir significativamente diferentes efectos biológicos en los cultivos **(Shama y Alderson 2005)**.

Se han propuesto varias definiciones para el término hormesis. Según Calabrese y Baldwin (2002), la hormesis es una respuesta adaptativa con características diferenciadas por la relación dosis respuesta, que es inducida por un proceso de acción directa o de sobreestimulación a dosis bajas.

En plantas equivale al efecto de la aplicación de dosis bajas de un tratamiento biótico o abiótico potencialmente dañino, que induce respuestas positivas o negativas en los tejidos contra varios tipos de estrés **(Shama y Alderson 2005)**.

Hay evidencias del efecto positivo del tratamiento de UV-C en aumentar las propiedades nutraceuticas de los alimentos y la síntesis de compuestos que actúan con los mecanismos de defensa natural de los vegetales expuestos a estrés **(Cisneros-Zevallos 2003)**.

La exposición de los tejidos a dosis bajas de irradiación UV-C puede inducir la producción de compuestos fungicidas como fitoalexinas, y retrasar procesos de maduración y senescencia. A su vez, el incremento de los compuestos antioxidantes en las frutas después de ser tratadas con luz UV-C se explica mediante las actividades de enzimas específicas implicadas en el metabolismo de los fenilpropanoides, incluyendo la fenilalanina amoniliasa que cataliza el primer paso comprometido en la vía de la biosíntesis fenólica, después de lo cual las ramificaciones individuales de la vía hacen posible una gama de compuestos secundarios como los compuestos fenólicos **(Márquez y Pretell 2013)**.

Por ejemplo se tiene el caso de las frutas tropicales mínimamente procesadas donde la irradiación UV-C causó un importante estrés inicial (hormesis) sobre las células, induciendo el aumento del contenido de compuestos fenólicos totales. Donde la tendencia de incremento del contenido de fenoles totales fue mantenida durante el almacenamiento, encontrándose valores de 54,23; 56,32 y 177,43 mg ácido gálico/100 g para las rebanadas de mango, trozos de piña y tiras de mamey tratadas con 14 kJ/ m<sup>2</sup>, respectivamente **(Márquez y Pretell 2013)**.

**Debido a la efectividad de la luz ultravioleta como agente desinfectante se han realizado diversas investigaciones para ampliar sus usos en la industria alimentaria, en frutas para consumo en fresco, en las frutas frescas cortadas como productos de cuarta (IV) gama; por lo cual es necesario mencionar los factores críticos del proceso, las diferencias en los equipos, las condiciones experimentales de los estudios realizados y la variedad de sustratos utilizados que condicionan la efectividad de la luz ultravioleta sobre los microorganismos. Otro grupo potencial es el de las harinas y cereales, donde la luz UV-C podría reducir la carga microbiana, especialmente la descontaminación de patógenos como *Bacillus cereus* (Domínguez L. y Parzanese M., 2011).**

## 1.5 ASPECTOS REGLAMENTARIOS

### 1.5.1 Código Alimentario Argentino

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 define 'conservación por radiación o energía ionizante' como el sometimiento de los alimentos a la acción de rayos gamma de radionucleidos de Co60 o Cs137, rayos X o electrones generados por máquinas que trabajen a energías de 10 MeV o inferiores.

### 1.5.2 Ley de Higiene y Seguridad en el Trabajo

En la ley 19.857 de higiene y seguridad en el trabajo, Decreto 351/1979, Artículo 63, se trata la exposición a radiaciones no ionizantes, aunque esta se refiere a exposiciones a radiaciones ultravioletas nocivas provocadas por trabajos de soldadura o afines. Sin embargo, explicita que el operario sea instruido de forma repetida, verbal y escrita sobre el riesgo al que está expuesto y se le proporcione material adecuado de protección, como anteojos o máscaras protectoras que absorban radiaciones, guantes y cremas para las partes del cuerpo que queden al descubierto.

### 1.5.3 *Food and Drug Administration (FDA)* Estados Unidos

En Estados Unidos el organismo encargado de la regulación de alimentos es *la Food and Drug Administration* (FDA). En la parte 179 del subcapítulo B, capítulo 1 del título 21 del *Code of Federal Regulations* (CFR), '*Food for human consumption* (Alimentos para consumo humano)', perteneciente al *Food and Drugs Act* de 1906, se permite el uso de radiación ultravioleta para el proceso y tratamiento de alimentos, siempre que se utilicen, como fuente de radiación, lámparas de mercurio de baja presión que emitan una longitud de onda de 253,7 nm (2.537 Å). Además, de tratar alimentos y productos alimentarios o agua potable, deberán atenerse a las siguientes limitaciones:

- Alimentos y productos alimentarios: sin ozono, alimentos con alto contenido graso serán irradiados al vacío o en una atmósfera inerte; la intensidad máxima de radiación será de 1 W en volúmenes de entre 5 y 10 / ft<sup>2</sup> (entre 0,46 y 0,93 m<sup>2</sup>)
- Agua potable en producción de alimentos: sin ozono; coeficiente de absorción mínimo de 0,19 cm<sup>-1</sup> ; caudal máximo de 100 galones/hora por watt a 2537 Å; profundidad del agua de 1 cm o menos; temperatura de las lámparas entre 36 °C y 46 °C; y
- Jugos, el producto pasará a través de conductos con un número de Reynolds mínimo de 2200 (flujo turbulento), para la reducción de patógenos y otros microorganismos (FDA)

#### 1.5.4 Codex Alimentarius. Unión Europea

En la Norma General del Codex para los Alimentos Irradiados, Codex STAN 106- 1983, rev. 1-2003 (CAC, 2003), al igual que en el Código Alimentario Argentino, no se considera a la radiación UV-C. 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); 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.

## 2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Teniendo en cuenta las ventajas tecnológicas, nutricionales, de costo y tiempo que la radiación ultravioleta de onda corta presenta, se busca experimentar que el uso de este tipo de metodología suave pueda aumentar la vida útil de los alimentos cuando se reduce la carga microbiana superficial.

Es por esto, y por contar con un equipo irradiador existente en la cátedra de Bromatología, con el cual se han hecho sucesivos ensayos como tratamientos de pos cosecha sin lograr resultados coherentes y claros, se pretende rediseñar y estudiar alternativas de aplicación para evaluar su uso como método de desinfección en superficies de alimentos de origen vegetal.

## 2.1 OBJETIVO GENERAL

- Refuncionalizar un equipo de radiación UV-C, para ser utilizado en tratamientos sobre alimentos de origen vegetal.

## 2.2 OBJETIVOS PARTICULARES

- Cuantificar la radiación del equipo antes y después de las modificaciones sugeridas.
- Determinar el efecto de la radiación UV-C sobre el crecimiento microbiano.
- Evaluar en cuanto es la reducción del número de aerobios mesófilos obtenido por este método.

## 2.3 HIPÓTESIS

Es posible que el rediseño de un equipo de radiación UV-C, para ser utilizado sobre alimentos de origen vegetal reduzca la carga microbiana superficial.

# 3. MATERIALES Y MÉTODOS

## 3.1 EVALUACIÓN DEL EQUIPO DE UV- C AL MOMENTO INICIAL

Materiales:



- Externos
- Internos

Medidas externas:

- Alto
- Ancho
- Largo

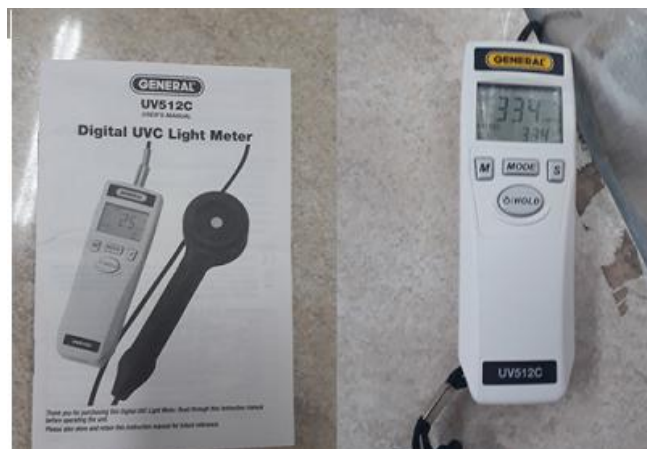
Medidas internas del equipo:

- Distancias de lámparas superiores a la superficie de apoyo
- Distancia entre las dos lámparas largas laterales
- Distancia entre lámparas inferiores y superficie de apoyo
- Distancia entre lámpara y lámpara superiores

Cantidad y tipo de lámparas UV-C

Potencia de lámparas

Con la ayuda del “Digital UVC Light Meter” se procedió a la toma de potencia de cada lámpara individualmente y luego en conjunto, a diferentes distancias y distintos puntos de referencia. Este dispositivo arroja resultados de manera localizada, en unidades de  $\mu W/cm^2$ .



*Ilustración 7: Equipo medidor de potencia UV-C*

Para la toma de potencia de lámparas, se tuvieron en cuenta dos distancias:

- 0,27m distancia desde la base de apoyo a la parte superior, donde se hallan las lámparas.
- 0,17m distancia a la que se propone llevar el equipo en su restauración, se logró colocando un objeto que acercó el dispositivo para capturar la medida de irradiación.

### 3.2 REDISEÑO Y REFUNCIONALIZACIÓN DEL EQUIPO UV-C

Luego de la búsqueda bibliográfica, el estudio de los parámetros a tener en cuenta para la eficiencia de un equipo UV-C y adecuándonos a los recursos disponibles, se realizaron las siguientes mejoras:

1. Se redujo la distancia de las lámparas a la superficie de apoyo, produciendo una separación del producto-lámpara de 0,17m. Esto se llevó a cabo cortando los extremos metálicos del equipo, buscando aumentar la eficiencia.
2. Se ubicaron los 7 porta lámparas en la parte superior del equipo de manera adyacente uno con otro, buscando aumentar la radiación emitida en conjunto.
3. Se colocó un cierre de manera fija a los laterales de cartón prensado recubierto de aluminio en el interior.

### 3.3 DETERMINACIÓN MICROBIOLÓGICA

La eficiencia del equipo puede comprobarse con la reducción logarítmica del número de microorganismos. Es por esto se utilizaron microorganismos aerobios mesófilos para verificar la funcionalidad, como se describe a continuación.

Microorganismos aerobios mesófilos

En este grupo se incluyen todos los microorganismos capaces de desarrollar en presencia de oxígeno a una temperatura comprendida entre 20°C y 45°C con una óptima entre 30°C y 40°C (ANMAT, 2014).

**El recuento de microorganismos aerobios mesófilos estima la microbiota total sin especificar tipos de microorganismos. Refleja las condiciones higiénicas de la materia prima, así como las mismas durante la manipulación, la elaboración y**

**conservación. Un recuento bajo de aerobios mesófilos no implica o no asegura la ausencia de patógenos o sus toxinas. (Pascual-Anderson y Calderón, 2000).**

#### Materiales

- Tubos de ensayo
- Agua Peptonada
- Pipetas de 10 ml estériles
- Cajas de Petri estériles
- Pipetas de 1 ml estériles
- Estufa de a 28 °C
- Agar para recuento en placa (API) fundido y enfriado a 45 °C
- Balanza

El recuento se realizó por la técnica Pour Plate.

A partir de un cultivo de microorganismos aerobios mesófilos obtenidos de cáscaras de naranja en caldo nutritivo se realizaron las siguientes diluciones:  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$



*Ilustración 8: Medio de cultivo a partir de cáscaras de naranja*

#### Preparación de diluciones

##### Materiales:

- Pipetas de 10 ml estériles

- Tubos de ensayo con 9 ml de agua destilada estéril
- Pipetas de 1 ml estériles
- Agitador Vórtex

#### Método

En forma estéril se realizó un cultivo con los microorganismos encontrados en la superficie de cáscaras de naranja en un frasco con 225 ml de agua peptonada estéril al 0,1 % obteniéndose así la dilución  $10^{-1}$  . Luego de homogeneizar la dilución, se tomó 1 ml con pipetas estériles y se añadió a tubos de ensayo con 9 ml de agua destilada estéril para obtener la dilución  $10^{-2}$ . Inmediatamente se homogeneizó con ayuda de un agitador Vórtex y se repitió el proceso hasta obtener la máxima dilución requerida en este caso  $10^{-5}$  en la ilustración 9 se puede observar el proceso realizado.








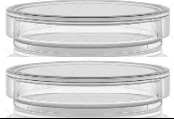



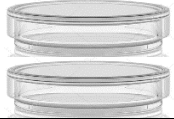






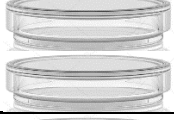
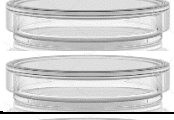
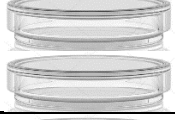
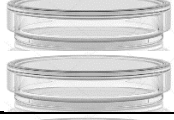
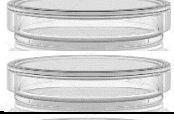
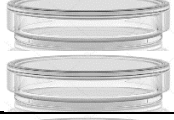








*Ilustración 9: Representación de las diluciones realizadas a partir del medio de cultivo*

De manera conjunta a las diluciones se realizaba la siembra en caja de Petri a la dilución correspondiente, realizando siembras por duplicado.

Obteniendo de esta manera 60 cajas de Petri, 12 por cada dilución, divididas en 3 grupos correspondiente al tiempo de exposición, tiempo de irradiación de un minuto, a tres minutos y el tercer grupo, a 5 minutos de irradiación. Quedando constituidos tres grupos de 20 cajas de Petri cada uno, distribuidos en 5 diluciones. A continuación en la tabla tres se representa lo explicado.

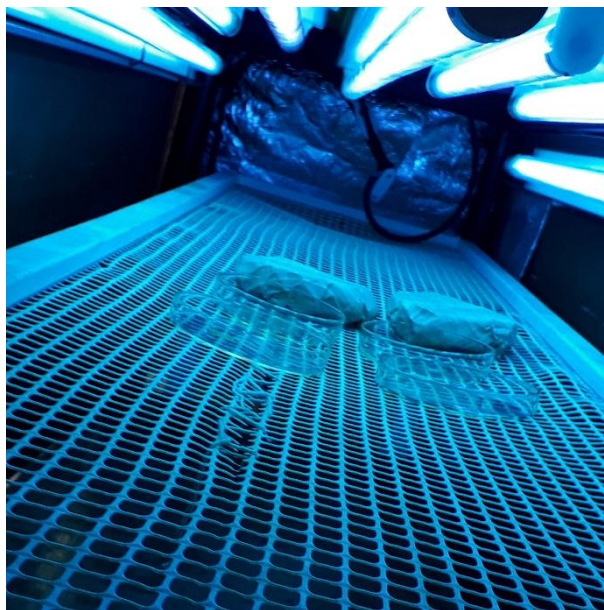
*Tabla 4: Representación gráfica de la cantidad de pruebas realizadas en cajas de Petri con microorganismos aerobios mesófilos*

Dilaciones	Tiempo 1 minuto		Tiempo 3 minutos		Tiempo 5 minutos	
	Testigo	Irradiado	Testigo	Irradiado	Testigo	Irradiado
$10^{-1}$						
$10^{-2}$						
$10^{-3}$						
$10^{-4}$						
$10^{-5}$						

A continuación todas las cajas fueron sometidas a condiciones de irradiación en el tiempo correspondiente a cada grupo. Las muestras testigos, se sometieron a las mismas condiciones de traslado y temperatura que las irradiadas, con la diferencia que se cubrieron con papel para que la luz no llegase a los microorganismos sembrados, esto se logró de la siguiente manera.



*Ilustración 10: Grupo representativo de la manera que se colocaban las muestras antes de ingresar al equipo de UV-C. Muestras testigo e irradiada, por duplicado.*



*Ilustración 11: Muestras testigo e irradiada en proceso, vista desde el interior del equipo UV-C*

Una vez realizado el proceso de radiación de las muestras en los tiempos previsto para cada grupo, a las cajas de Petri se añadió aproximadamente 20 ml de Agar API (Medio de cultivo recomendado para el recuento de bacterias aeróbicas, extracto de levadura 2.5, tripteína 5.0, glucosa 1.0, agar 15.0. PH final:  $7.0 \pm 0.2$ ) previamente fundido y enfriado a 45 °C, se homogeneizó con movimientos circulares hacia ambos sentidos, posteriormente transcurridos unos 15 minutos se incubaron en estufa a 28 °C durante 48 hs. El recuento se realizó en aquellas placas que tenían entre 30 y 300 colonias. El resultado se expresó en ufc/ml.

#### **4. RESULTADOS**

Resultados de las características del equipo de radiación ultravioleta al momento inicial.

Materiales:

- Soportes metálicos
- Parte superior de madera
- Laterales de cartón recubiertos de aluminio
- Superficie metálica móvil para introducir y extraer las muestras

Medidas externas:

- Alto: 0,75m
- Ancho: 0,50m
- Largo: 1,780m

Medidas internas del equipo:

- Distancias de lámparas superiores a la superficie de apoyo: 0,27m
- Distancia entre las dos lámparas largas laterales: 0,37m
- Distancia entre lámparas inferiores y superficie de apoyo: 0,41m
- Distancia entre lámpara y lámpara superiores: 0,09m

Medias individuales:

- Lámpara central larga ubicada en la parte superior:

- a 0,27m:  $921\mu W/cm^2$
- a 0,17m:  $1171\mu W/cm^2$
- Lámpara lateral izquierda larga, desde vista frontal:
  - a 0,27m:  $793\mu W/cm^2$
  - a 0,17m:  $1028\mu W/cm^2$
- Lámpara lateral derecha larga, desde vista frontal:
  - a 0,27m:  $781\mu W/cm^2$
  - a 0,17m:  $1013\mu W/cm^2$
- Lámparas cortas de manera individual cada una:
  - a 0,27m y a 0,17m:  $0\mu W/cm^2$

#### Lámparas UV-C

- 3 tubos largos de 1,2m. Marca BIE Industria China. 30W.
- 4 tubos cortos de 0,6m. Marca DAYLINGHT Industria China

En la ilustración 12 se muestra el interior del equipo en donde se visualizan los materiales descriptos y la distribución de las lámparas en el momento Inicial:



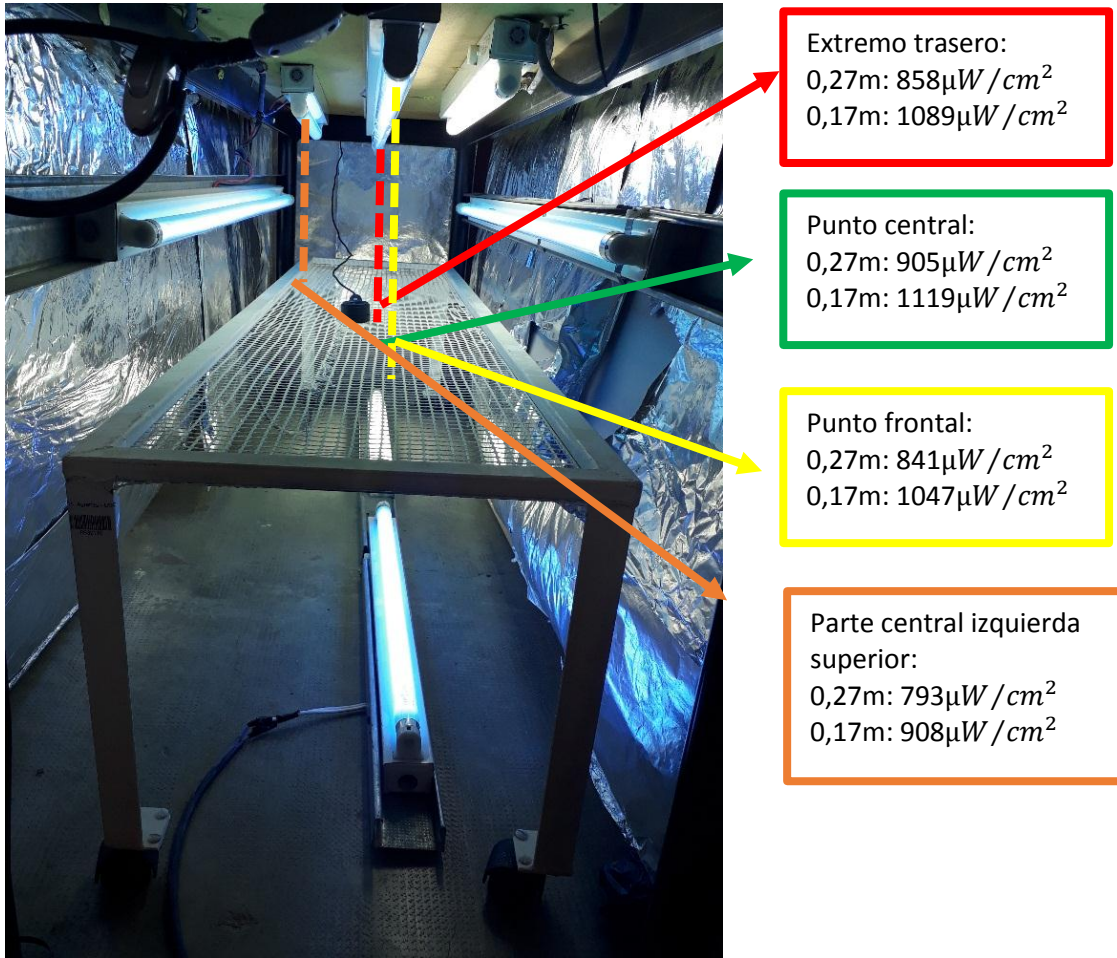


*Ilustración 12: Interior del equipo UVC al momento inicial visto de frente*

En la ilustración 12 se observa en interior del equipo con los 7 tubos mencionados, 3 largos uno en el centro superior y a los laterales los otros dos. Los 4 tubos cortos se encuentran, dos en la parte inferior sobre la superficie del suelo y dos en la parte superior a los lados de la lámpara central.

Medidas de la potencia con todas las lámparas funcionando.

A continuación se muestra (ilustración 13) algunos puntos de referencia en los cuales se midió la potencia lograda con todas las lámparas encendidas.



*Ilustración 13: Interior del equipo UVC con distintos puntos de referencia al cual se tomaron medidas de radiación*

Resultados de las características del equipo de radiación ultravioleta luego del rediseño

A continuación se presentan las nuevas características del equipo, los materiales, el rediseño, las medidas de radiación por cada lámpara y de los puntos estratégicos tomados como referencia, observando la eficiencia del mismo con los datos obtenidos luego de exponer a los microorganismos aerobios mesófilos a la radiación UV-C en los tiempos especificados.

Medidas externas:

- **Alto: 0,54m**
- Ancho: 0,50m
- Largo: 1,780m

Materiales:

- Soportes metálicos
- Parte superior de madera
- **Laterales de cartón prensado recubiertos internamente papel de aluminio**
- Superficie metálica móvil para introducir y extraer las muestras

Lámparas UV-C:

- 3 tubos largos de 1,20m
- **4 tubos cortos de 0,6m (nuevos). Marca YINKO GL Origen Chino**



*Ilustración 14: Exterior del equipo con las mejoras realizadas*



*Ilustración 15: Interior del equipo en donde se observa las 7 lámparas adyacentes en la parte superior y la superficie de apoyo.*

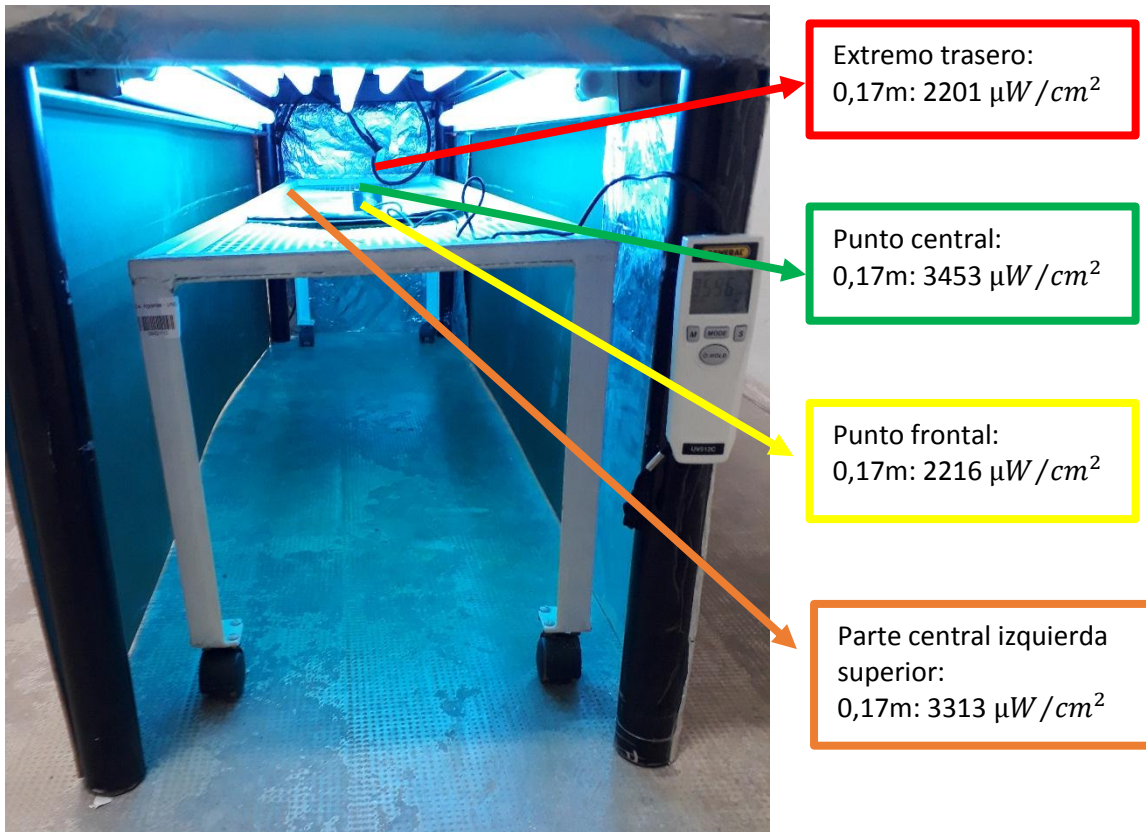
Luego de realizar las mejoras físicas del equipo, como acortar la distancia entre la base de apoyo y origen de la radiación emitida, (0,17m), la reubicación de las lámparas nuevas y preexistentes de manera adyacentes una con otra en la parte superior del equipo, entre otras mencionadas, se procedió a tomar la radiación emitida en estas condiciones con el dispositivo “Digital UVC Light Meter” y los datos obtenidos son los siguientes:

Medias individuales:

- Lámpara central larga ubicada en la parte superior:
  - a 0,17m:  $1270 \mu W / cm^2$
- Lámpara lateral izquierda larga, desde vista frontal:
  - a 0,17m:  $1106 \mu W / cm^2$
- lámpara lateral derecha larga, desde vista frontal:
  - a 0,17m:  $1118 \mu W / cm^2$
- Lámparas cortas de manera individual cada una:
  - a 0,17m:  $2349 \mu W / cm^2$

Medidas de la radiación con todas las lámparas funcionando.

A continuación se muestran algunos puntos de referencia en los cuales se midió la radiación emitida por el conjunto de lámparas, tomando de manera comparativa, los mismos puntos que se analizaron en el momento inicial antes de las mejoras que se realizaron en el equipo (Ilustración 16).



*Ilustración 16: Valores de radiación en el interior del equipo UV-C al momento final comparados con los del momento inicial*

En la ilustración 16 se muestra que los distintos puntos a los que se les midió radiación coinciden con los puntos tomados en el inicio al equipo de UV-C. Buscando de manera experimental que las mejoras realizadas llevarían a un aumento de la radiación emitida por el conjunto de lámparas.

Con mayor detalle, a continuación se muestran los valores de radiación obtenidos antes y después del rediseño del equipo tomando los mismos puntos de referencia.

Tabla 5: Medidas de radiación de cada lámpara a 0,17m en el momento inicial y a 0,17m al momento final luego de todos los cambios realizados.

Lámparas	Medidas de manera individual ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ )		Diferencia de radiación
	Momento inicial a 0,17m	Momento final a 0,17m	
Central, tubo largo	1171	1270	99
Lateral izquierda, tubo largo	1028	1106	78
Lateral derecha, tubo largo	1013	1118	105
Tubo corto	0	2349	2349
Tubo corto	0	2351	2351
Tubo corto	0	2351	2351
Tubo corto	0	2350	2350

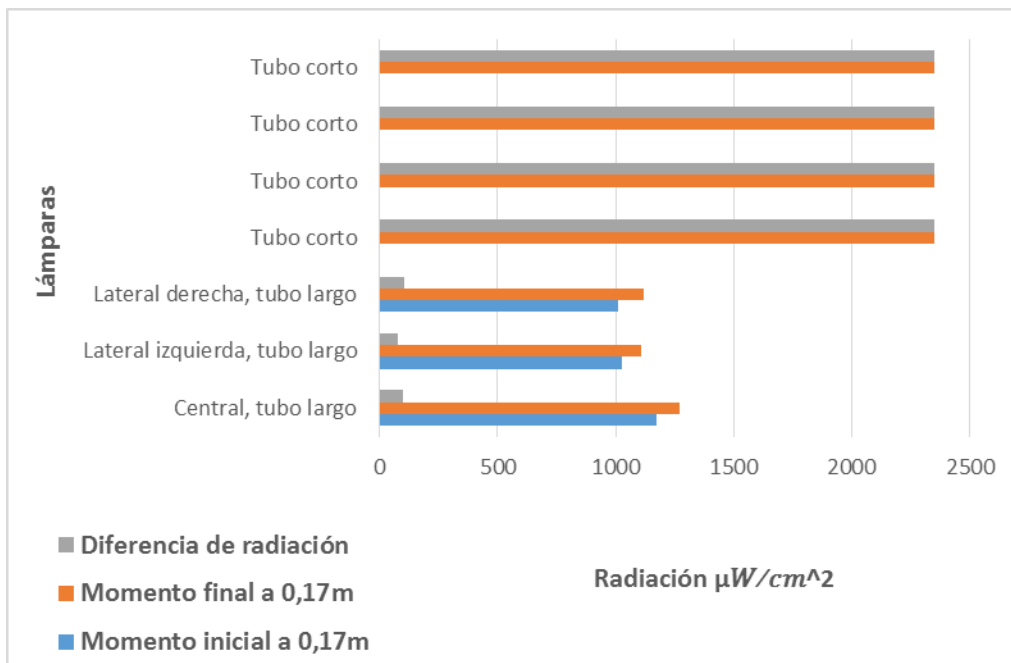


Ilustración 17: Medidas de radiación de cada lámpara antes y después del rediseño del equipo.

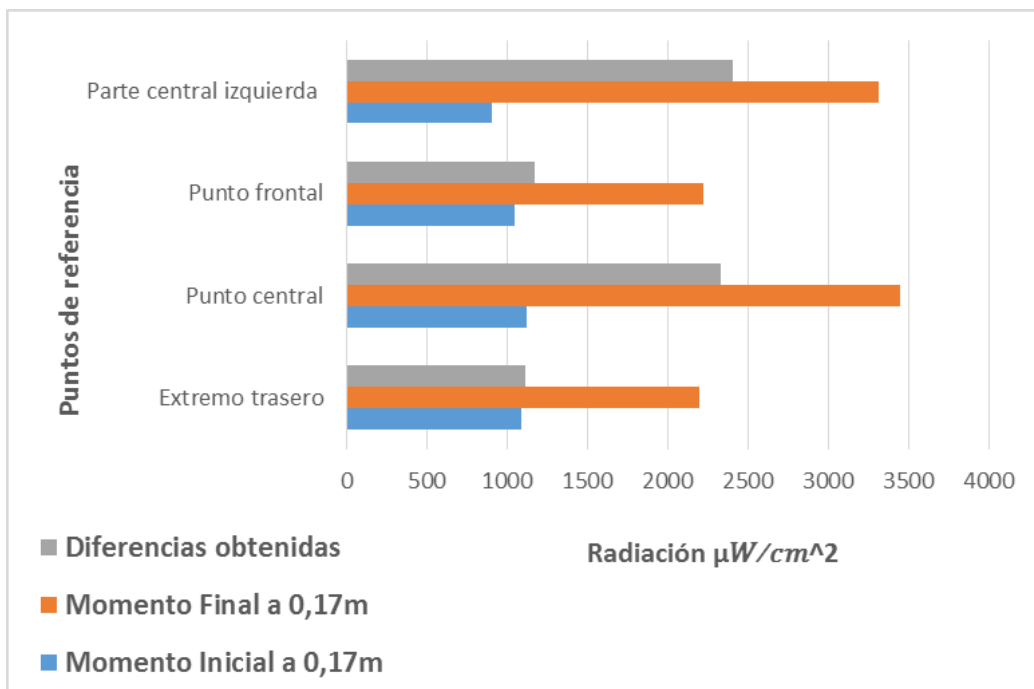
En la ilustración 17 se observa la variación de radiación por cada lámpara, al momento inicial, simulando tener una distancia de 0,17m en esas condiciones, y luego la radiación obtenida cuando se modificó el equipo a 0,17m con las mejoras realizadas y lámparas nuevas. Se observa que los tres tubos largos de 1,20m aunque son los mismos antes y después del rediseño del equipo, mostró una pequeña variación, esto podría deberse a que

el “Digital UVC Light Meter” en el momento inicial no se encontraba bien posicionado. Estas lámparas arrojan valores que van desde  $1171\mu W/cm^2$  a  $1270\mu W/cm^2$ , es el caso de la ubicada en la posición central del equipo. Valores bajos de radiación para este tipo de lámpara, indica que lleva unos cuantos meses de uso.

También se observa, que la medida de las 4 lámparas cortas de 0,60m al comienzo mostró  $0\mu W/cm^2$  de radiación ultravioleta de onda corta, es por esto que se adquirieron 4 lámparas nuevas en las que cada una arrojó un valor de radiación en promedio de  $2350,25\mu W/cm^2$ , valores razonables para una lámpara 30W de potencia.

Tabla 6: Radiación de UV-C en distintos puntos del equipo, antes y después del rediseño.

<b>Medias con todas las lamparas encendidas ( <math>\mu W/cm^2</math> )</b>			
<b>Punto de referencia</b>	<b>Momento Inicial a 0,17m</b>	<b>Momento Final a 0,17m</b>	<b>Diferencias obtenidas</b>
Extremo trasero	1089	2201	1112
Punto central	1119	3453	2334
Punto frontal	1047	2219	1172
Parte central izquierda	908	3313	2405



*Ilustración 18: Medidas de radiación obtenidas en distintos puntos en el interior del equipo, momento inicial y final.*

En la ilustración 18 se puede observar 4 puntos tomados como referencia en el equipo de radiación ultravioleta antes y después de las mejoras realizadas.

De forma general se muestra un aumento de manera favorable cuando el equipo fue rediseñado. El punto central arroja un aumento de radiación de  $2334\mu W/cm^2$ , en centro pero hacia la izquierda se obtuvo un aumento de  $2405\mu W/cm^2$ . Y en los extremos, parte frontal y trasera los aumentos fueron de  $1172\mu W/cm^2$  y  $1112\mu W/cm^2$  respectivamente.

Luego de obtener valores de radiación UV-C más altos con respecto al comienzo se realizó la medición de la eficiencia del equipo utilizando microorganismos aerobios mesófilos, como se mencionó anteriormente.

A continuación en la tabla 7 se muestran los datos obtenidos luego de realizar el medio de cultivo y exponerlos a radiación.



Tabla 7: Influencia de la radiación ultravioleta sobre microorganismos aerobios mesófilo

Influencia de la radiación UV-C sobre microorganismos aerobios mesófilos extraídos de un medio de cultivo con cáscaras de naranja						
	Testigo sin irradiar (ufc/ml)	Tiempos de exposición a radiación			Reducción obtenida en grados logarítmicos	
		1 minuto (ufc/ml)	3 minutos (ufc/ml)	5 minutos (ufc/ml)		
$10^{-1}$	8,80E+07	9,00E+00	9,00E+00	9,00E+00	8,00E+00	
$10^{-2}$	8,80E+07	9,00E+00	9,00E+00	9,00E+00	8,00E+00	
$10^{-3}$	8,80E+07	9,00E+00	9,00E+00	9,00E+00	8,00E+00	
$10^{-4}$	8,80E+07	9,00E+00	9,00E+00	9,00E+00	8,00E+00	
$10^{-5}$	8,80E+07	9,00E+00	9,00E+00	9,00E+00	8,00E+00	

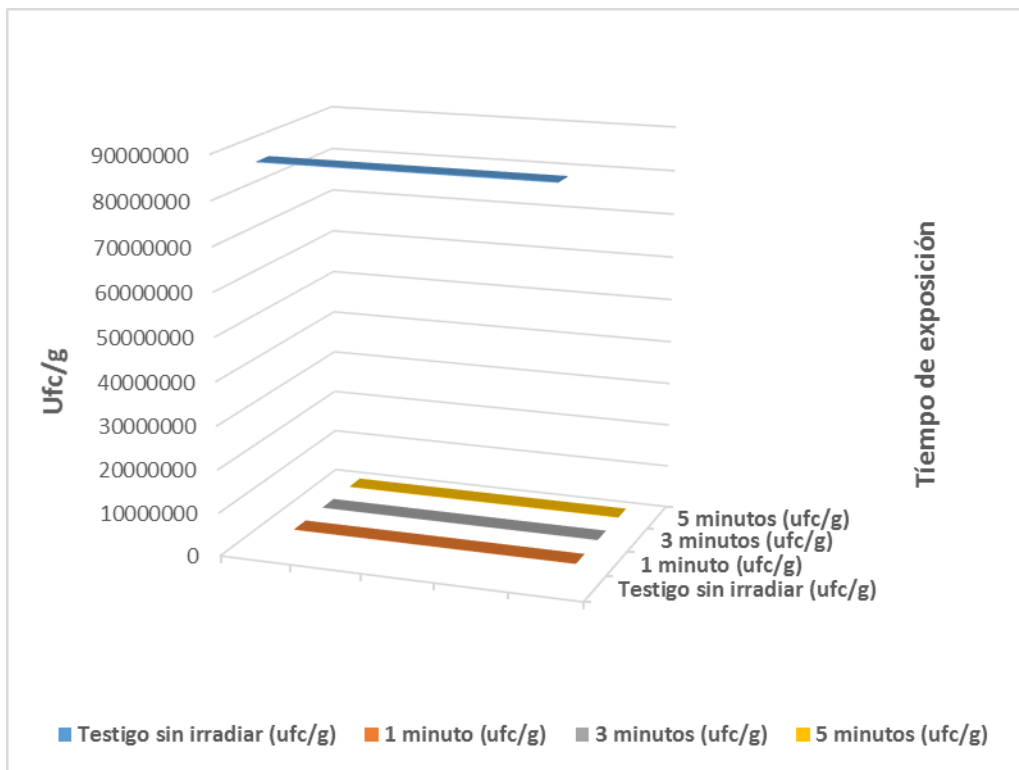
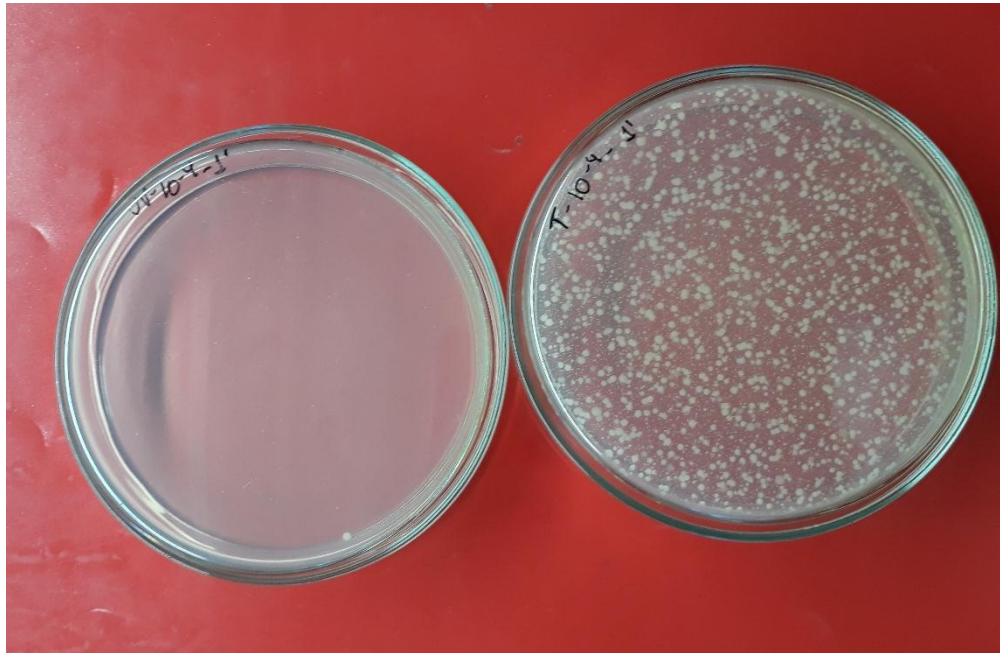


Ilustración 19: Cantidad de microorganismos aerobios mesófilo cuando se someten a distintos tiempos con radiación UV-C

Como puede observarse en la ilustración número 19, las siembras testigo contaron con una población de microorganismos de  $10^8$  ufc/ml en el momento inicial las cuales se redujeron a menos de 10 ufc/ml en tan solo un minuto de exposición.

La ilustración 20 muestra que la reducción microbiana fue exitosa en los tres tiempos de exposición (1,3 y 5 minutos) a la luz UV-C, obteniéndose una reducción microbiana de 8 unidades logarítmicas.

Esto comprueba de manera muy satisfactoria los resultados que se esperaban del rediseño del equipo.



*Ilustración 20: Muestras de microorganismos, lado izquierdo el testigo irradiado un minuto con UV-C y del lado derecho el testigo cubierto antes de someterse a radiación.*

## **5. DISCUSIÓN**

La capacidad de la radiación UV-C para reducir el número de microorganismos es confirmada por varios autores (Allende y Artés, 2003a, Barka et al., 2000; Vicente et al., 2004; Guevara et al., 20011). El beneficio de esta técnica radica en la capacidad de la radiación UV-C en ocasionar daños de diferente magnitud en el ADN celular, afectando a la viabilidad de las células microbianas (Bintisis et al., 2000), además, induce la síntesis de compuestos antifúngicos en el melón cantaloupe (*Cucumis melo* var. *cantalupensis*) mínimamente procesado (Lamikarna et al., 2002).

Las pruebas realizadas con los medios de cultivos en caja de Petri sobre la reducción logarítmica de microorganismos aerobios mesófilos, arrojaron resultados muy efectivos y satisfactorios, logrando una reducción de ocho unidades logarítmicas. Sin embargo otros autores concluyen que las reducciones obtenidas sobre diferentes vegetales, llega a ser hasta tres ciclos logarítmicos.

De igual forma, Manzocco et al. (2011b) concluyeron que tras aplicar dosis de 12000 – 60000  $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$  se logra reducir entre 1 y 2 ciclos logarítmicos los recuentos de microorganismos indicadores, de contaminación en manzanas.

La irradiación UV-C es considerada por Rivera et al., (2007); Guerrero y Barbosa (2004) y Pombo (2009) como una atractiva opción de tratamiento poscosecha para la conservación de vegetales ya que es de fácil aplicación, poco mantenimiento y bajos costos.

## **6. CONCLUSIÓN**

En la presente tesis de grado, se logró el rediseño de un equipo UV-C existente en la Cátedra de Bromatología. El mismo permitió experimentar y analizar el uso de luz UV-C sobre microorganismos aerobios mesófilos. Y dado los resultados obtenidos puede concluirse que la radiación ultravioleta de onda corta es un método efectivo para reducir la carga microbiana, bajo ciertas condiciones de tiempo, distancia, potencia y radiación establecidas.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- ANDRADE-CUVI, MARIA JOSE Y COLS. 2013. Efecto hormético de la radiación uv-c sobre el desarrollo de *Rhizopus* y *Phytophthora* en naranjilla. *Revista Científica de América Latina y el Caribe, España y Portugal. Ev. Iber. Tecnología Poscosecha* Vol 14 (1): 64-71.
- ANDREA CABRAL. 2017. Efecto de la radiación ultravioleta sobre la calidad de hortalizas deshidratadas. Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ciencias Agrarias. 71p.
- DULCE M. RIVERA-PASTRANA, ALFONSO A. GARDEA BÉJAR, MIGUEL A. MARTÍNEZ-TÉLLEZ, MARISELA RIVERA-DOMÍNGUEZ Y GUSTAVO A. GONZÁLEZ-AGUILAR. 2007. Efectos bioquímicos pos cosecha de la irradiación uv-c en frutas y hortalizas. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 30 (4): 361 – 372.
- GABRIEL GONZÁLEZ SPRINBERG Y CAROLINA RABIN LEMA. 2011. Para entender las radiaciones. Ed. Dirac, Facultad de Ciencias. Montevideo, Uruguay. ISBN: 978-9974-0-0720-8.
- GUTIÉRREZ DIEGO, RUIZ LÓPEZ GUSTAVO, SGROPPO SONIA, RODRÍGUEZ SILVIA. 2016. Uso de la radiación UV-C en el proceso de elaboración de hortalizas de IV gama. *Agrociencia Uruguay - Volumen 20 2:7-13 - julio/diciembre.*
- LAURA DOMÍNGUEZ, MAGALI PARZANESE. 2011. Luz ultravioleta en la conservación de alimentos. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. *Alimentos Argentinos* 71-16.
- MANZOCCO, L., DA PIEVE, S., BERTOLINI, A., BARTOLOMEOLI, I., MAIFRENI, M., VIANELLO, A., NICOLI, M. 2011b. Surface decontamination of fresh-cut apple by UV-C light exposure: Effects on structure, colour and sensory properties. *Postharvest Biol. Technol.* 61(2-3):165-171.
- MARÍA LAURA LEMOINE. 2009. Efecto de la aplicación de tecnologías limpias sobre la prolongación de la vida postcosecha de brócoli mínimamente procesado. Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ciencias Exactas. Buenos Aires, Argentina. 180p.
- MARIO RODRÍGUEZ BERAUD; ANDDY WYSS VALDÉS; NELSON HORMAZÁBAL VÁSQUEZ. 2015. Evaluación de bolsa atmósfera modificada y concentraciones de anhídrido sulfuroso aplicadas sobre frutos de arándanos. Ed. Scientia Agropecuaria Vo.l 6 no.4. Trujillo.

- MILLÁN, D., ROMERO, L., BRITO, M., RAMOS, A. 2015. Luz ultravioleta: inactivación microbiana en frutas. Venezuela.
- O. T. ANTONIO-GUTIERREZ, E. PALOU Y A. LOPEZ-MALO. 2012. Equipos para tratamientos con UVC en alimentos. *Temas Selectos de Ingeniería en Alimentos* 6-2 (2012): 149-159.
- PERKINS-VEAZIE, P., COLLINS, J., HOWARD, L. 2008. Blueberry fruit response to postharvest application of ultraviolet radiation. *Postharvest Biology and Technology* 47 (2008) 280–285.
- 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], pp. 120.
- RIVERA-PASTRANA, D., GARDEA-BÉJAR, A., MARTÍNEZ-TÉLLEZ, M. A., RIVERA-DOMÍNGUEZ, M., GONZÁLEZ-AGUILAR, G. 2007. Efectos bioquímicos postcosecha de la irradiación UV-C en frutas y hortalizas. *Rev. Fitotec. Mex.* 30(4):361-372.
- RODRIGUES, S., NARCISO, F. 2012. *Advances in Fruit Processing Technologies*. CRC Press Taylor & Francis Group, Florida, USA, pp. 472.
- RUIZ LÓPEZ, G. A.; QÜESTA, A. G.; RODRÍGUEZ, S. 2010. Efecto de luz UV-C sobre las propiedades antioxidantes y calidad sensorial de repollo mínimamente procesado. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, vol. 11, núm. 1, 2010, pp. 101- 108.
- TARDON ANTONIO. 2011. Efecto de la radiación uv-c sobre la calidad en brotes de alfalfa. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 63p.