



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE REACTOR
UV-C MEDIANTE MANUFACTURA ADITIVA PARA LA
ESTERILIZACIÓN DE LECHE

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA:

LUISA ITAMAR SÓCOLA RIVAS

Riobamba – Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE REACTOR
UV-C MEDIANTE MANUFACTURA ADITIVA PARA LA
ESTERILIZACIÓN DE LECHE

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: LUISA ITAMAR SÓCOLA RIVAS

DIRECTOR: ING. DARIO FERNANDO GUAMÁN LOZADA MSc.

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, **Luisa Itamar Sócola Rivas**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Luisa Itamar Sócola Rivas, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular. El patrimonio intelectual a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 06 de diciembre de 2023

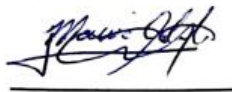


A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Luisa Itamar Sócola Rivas', is written over a yellow rectangular background.

Luisa Itamar Sócola Rivas

070699512-3

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: el Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE REACTOR UV-C MEDIANTE MANUFACTURA ADITIVA PARA LA ESTERILIZACIÓN DE LECHE**, realizado por la señorita: **LUISA ITAMAR SÓCOLA RIVAS**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Mónica Lilian Andrade Avalos PRESIDENTA DEL TRIBUNAL		2023-12-06
Ing. Darío Fernando Guamán Lozada DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-12-06
Ing. Daniel Antonio Chuquin Vasco ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-12-06

DEDICATORIA

El presente trabajo es dedicado en primer lugar a Dios, por brindarme salud, bienestar y en especial por guiarme a lo largo de este camino. A mis padres, Florencio y Narcisa, por ser mi fuente de inspiración y de motivación diaria, por cada consejo valioso brindado y en especial por siempre recordarme aquellos valores esenciales para la vida, son y siempre serán aquel impulso para continuar superándome, cada logro de mi vida se lo debo a ellos. A mi hermano Jordy, por ser mi compañero de vida, mi soporte y confidente en cada momento, es lo mejor que me pudo dar Dios en esta vida, me es grato poder decir que este logro finalmente lo celebramos juntos, eres el mejor ejemplo para seguir. A mis abuelitos, en especial a mis dos ángeles Sixto y Francisco, siempre los llevaré en mi corazón y sin duda estoy segura de que se encuentran orgullosos, gracias por brindarme aquellos consejos llenos de amor y valentía que conservaré siempre.

Luisa

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por acogerme estos años y ofrecerme una buena formación y educación a través de grandes profesionales.

A mi director de tesis, el Ing. Darío Guamán Lozada por su gran apoyo, paciencia y guía dentro de este trabajo de integración curricular.

A Michael, por su serenidad, ayuda y motivación brindada de principio a fin, por darme ánimos cuando más lo necesitaba y recordarme que siempre existe una solución.

A mis hermanas de vida, Steffy y Doménica, por siempre escucharme y aconsejarme, son realmente muy valiosas para mí.

A mis amigos, Yordan, Allison, Jordan y Miguel, gracias por cada risa, aprendizaje y sobre todo el apoyo incondicional obtenido a lo largo de estos años.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	2
1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2. Justificación	3
1.3. Objetivos	5
1.3.1. <i>Objetivo general</i>	5
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i>	5

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Antecedentes de investigación	6
2.2. Referencias teóricas	7
2.2.1. <i>Leche</i>	7
2.2.2. <i>Esterilización en alimentos</i>	8
2.2.3. <i>Agentes patógenos de la leche</i>	8
2.2.4. <i>Radiación UV-C</i>	9
2.2.5. <i>Reactores UV-C</i>	9
2.2.6. <i>Número de Reynolds</i>	9
2.2.7. <i>Flujo turbulento</i>	9
2.2.8. <i>Flujo laminar</i>	10

2.2.9. Esterilización en líquidos opacos	10
2.2.10. Manufactura aditiva	11
2.2.11. Estereolitografía (SLA).....	11
2.2.12. Modelado por deposición fundida (FDM).....	11
2.2.13. Sinterización selectiva por láser (SLS).....	12
2.2.14. Manufactura de objetos laminados	12
2.2.15. Materiales para la impresión 3D.....	12
2.2.16. Uso de la tecnología UV-C en lácteos	13
2.2.17. Efecto germicida de la luz ultravioleta	14
2.2.18. Análisis microbiológicos	14

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO.....	15
3.1. Descripción de los procesos	15
3.2. Materiales	16
3.2.1. Lámpara UV-C	16
3.2.2. Resina epoxi	16
3.2.3. Impresora 3D.....	17
3.2.4. Vidrio de borosilicato 3.3	17
3.2.5. Bomba peristáltica	17
3.2.6. Módulo regulador de flujo	18
3.3. Normas.....	18
3.3.1. INEN 10:2012	18
3.3.2. Norma NTE INEN 14.....	18
3.4. Enfoque.....	18
3.4.1. Método cuantitativo	18
3.4.2. Método cualitativo	19
3.5. Alcance.....	19
3.6. Diseño y construcción	19
3.6.1. Diseño del reactor	19
3.6.2. Construcción del prototipo de reactor UV-C.....	21
3.7. Tipo de estudio.....	22
3.8. Métodos técnicas e instrumentos de investigación empleados.....	23
3.8.1. Fusion 360.....	23

3.8.2. <i>Impresión 3D</i>	23
3.8.3. <i>Estereolitografía</i>	23
3.8.4. <i>Dosis requerida</i>	24
3.8.5. <i>Medición de la irradiancia</i>	24
3.8.6. <i>Cálculos requeridos</i>	25
3.8.6.1. <i>Tiempo de exposición UV-C</i>	25
3.8.6.2. <i>Volumen</i>	25
3.8.6.3. <i>Flujo</i>	25
3.8.6.4. <i>Número de Reynolds</i>	26
3.8.7. <i>Análisis microbiológico para el recuento de Escherichia coli</i>	26
3.8.8. <i>Análisis de sólidos totales</i>	27
3.8.9. <i>Medición de pH</i>	28
3.8.10. <i>Determinación de proteínas</i>	29
3.8.11. <i>Determinación del contenido de grasa</i>	30
3.8.12. <i>Determinación de densidad</i>	31
3.9. <i>Análisis estadístico</i>	32

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	33
4.1. Funcionamiento del reactor UV-C	33
4.2. Funcionamiento del circuito	33
4.3. Diagrama del proceso	34
4.4. Resultados obtenidos de la esterilización de la leche	35
4.4.1. <i>Dosis requerida</i>	35
4.4.2. <i>Valores obtenido de la irradiancia</i>	35
4.4.3. <i>Tiempo requerido para la esterilización</i>	36
4.4.4. <i>Volumen interno del reactor</i>	36
4.4.5. <i>Flujo de leche</i>	36
4.4.6. <i>Velocidad de flujo</i>	36
4.4.7. <i>Número de Reynolds</i>	37
4.5. Resultados de análisis obtenidos en la leche	37
4.5.1. <i>Resultados microbiológicos y organolépticos de la leche cruda</i>	37
4.5.2. <i>Resultados microbiológicos y organolépticos de la leche esterilizada</i>	38
4.5.3. <i>Resultados del análisis químico de la leche esterilizada</i>	39

4.6. Análisis ANOVA	39
4.7. Análisis comparativo con el proceso de esterilización convencional	41

DISCUSIÓN	43
------------------------	----

CONCLUSIONES	44
---------------------------	----

RECOMENDACIONES	45
------------------------------	----

GLOSARIO

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-3: Análisis para el recuento de E. Coli	26
Tabla 2-3: Análisis de sólidos totales	27
Tabla 3-3: Medición de pH	28
Tabla 4-3: Determinación de proteínas	29
Tabla 5-3: Determinación del contenido de grasa	30
Tabla 5-3: Determinación de densidad	31
Tabla 1-4: Valores de irradiancia.....	35
Tabla 2-4: Resultados microbiológicos de la leche cruda	37
Tabla 3-4: Análisis organoléptico de la leche cruda	37
Tabla 4-4: Análisis de la leche tratada mediante radiación UV-C.....	38
Tabla 5-4: Análisis organoléptico de la leche irradiada	38
Tabla 6-4: Análisis químicos de la leche irradiada.....	39
Tabla 7-4: Resultados del ANOVA	39
Tabla 8-4: Comparación entre la esterilización UV-C y térmica en la leche cruda.....	42

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-3: Metodología para el diseño y construcción del reactor UV-C.....	15
Ilustración 2-3: Pieza superior	20
Ilustración 3-3: Pieza inferior	20
Ilustración 4-3: Diseño del cuerpo del reactor	21
Ilustración 5-3: Diseño de la parte interna del reactor.....	21
Ilustración 6-3: Parte superior del reactor	21
Ilustración 7-3: Parte inferior del reactor.....	22
Ilustración 8-3: Cuerpo del reactor.....	22
Ilustración 9-3: Lámpara de mercurio UV-C.....	22
Ilustración 9-3: Dosis requeridas para un espesor específico	24
Ilustración 1-4: Circuito eléctrico del reactor UV-C.....	33
Ilustración 2-4: Diagrama de flujo del proceso de esterilización de la leche.....	34
Ilustración 3-4: Intervalos Tukey	40
Ilustración 4-4: Flujo necesario para la eliminación de UFC	41

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: CIRCUITO ARDUINO.....	56
ANEXO B: ESTERILIZACIÓN POR MEDIO DEL REACTOR UV-C	59
ANEXO C: INOCULACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS.....	60
ANEXO D: RESULTADOS OBTENIDOS DE CADA TRATAMIENTO.....	61
ANEXO E: ANÁLISIS QUÍMICOS DE LA LECHE TRATADA.....	62

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

VARIABLE	DESCRIPCIÓN
3D	Tercera dimensión
ABS	Acrilonitrilo butadieno estireno
E. COLI	Escherichia coli
EMB	Eosina y azul de metileno
FMD	Deposición fundida
LOM	Fabricación de objetos laminados
PE	Polietileno
PLA	Ácido poliláctico
PP	Polipropileno
RE	Número de Reynolds
SLA	Estereolitografía
SLCM	Estereolitografía de cerámica
SLS	Sinterizado selectivo por láser
UV-C	Radiación ultravioleta de onda corta
UV	Radiación ultravioleta
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
NTE	Norma Técnica Ecuatoriana
ANOVA	Analysis of Variance/ Análisis de Varianza
CAD	Computer Aided Design/ Diseño asistido por computadora
CAM	Computer Aided Manufacturing/ Fabricación asistida por computadora

RESUMEN

La investigación concerniente a la esterilización de la leche por medio de radiación UV-C y su aplicación en reactores, carece de suficiencia en términos de estudios, modelos matemáticos y propuestas de diseño que se ajusten a las particularidades de la leche. Sumado a esto, se plantean retos en relación con los aspectos económicos y la conservación de los nutrientes en otras técnicas de esterilización. Por tal motivo, el propósito primordial de este estudio radicó en el diseño y construcción de un prototipo de reactor UV-C empleando técnicas de manufactura aditiva, con el fin de llevar a cabo la esterilización de la leche. La metodología ejecutada partió del diseño en 3D en Fusion 360, considerando meticulosamente cada parámetro necesario para crear una estructura apropiada que garantizara la esterilidad eficaz de la leche. Se adoptó un enfoque de naturaleza mixta que se derivó de la integración de aspectos cuantitativos y cualitativos. Por un lado, se consideró la cuantificación mediante el análisis del recuento de E. Coli, así como la exploración y análisis de variables estadísticas. Por otro lado, se incorporó la dimensión cualitativa, la cual se manifestó a través de la evaluación sensorial llevada a cabo al culminar el proceso de esterilización de la leche. El resultado de la aplicación de esta metodología arrojó que la eliminación total de Escherichia Coli se alcanzó bajo condiciones de flujo de 0,05 ml/s y una dosis de radiación de $3,9 \times 10^4$ J/m² con un espesor de 1,1 mm. Es importante destacar que la leche sometida a este tratamiento mantuvo los estándares de calidad estipulados por la normativa vigente (INEN 10:2012). En conclusión, la determinación precisa de los parámetros de diseño, la adaptabilidad de la impresión 3D, la validación a través de análisis estadísticos y la confirmación de cumplimiento normativo enriquecieron este enfoque integral, este estudio representa un logro significativo que abre nuevas posibilidades para abordar los desafíos de seguridad alimentaria.

Palabras clave: <PROTOTIPO DE REACTOR>, <MANUFACTURA ADITIVA>, <LECHE>, <RADIACIÓN UV-C>, <ESTERILIZACIÓN>.

2079-DBRA-UPT-2023



ABSTRACT

Research concerning milk sterilization by means of UV-C radiation and its application in reactors is lacking in terms of studies, mathematical models and design proposals that adjust to the particularities of milk. In addition, there are challenges in relation to the economic aspects and the conservation of nutrients in other sterilization techniques. For this reason, the main purpose of this study was the design and construction of a prototype UV-C reactor using additive manufacturing techniques, in order to carry out the sterilization of milk. The methodology executed started from the 3D design in Fusion 360, meticulously considering each parameter necessary to create an appropriate structure that would guarantee the effective sterility of the milk. An approach of a mixed nature was adopted, derived from the integration of quantitative and qualitative aspects. On the one hand, quantification was considered through the analysis of E. coli counts, as well as the exploration and analysis of statistical variables. On the other hand, the qualitative dimension was incorporated, which was manifested through the sensory evaluation carried out at the end of the milk sterilization process. The result of the application of this methodology showed that the total elimination of Escherichia Coli was achieved under flow conditions of 0.05 ml/s and a radiation dose of 3.9×10^4 J/m² with a thickness of 1.1 mm. It is important to note that the milk subjected to this treatment maintained the quality standards stipulated by current regulations (INEN 10:2012). In conclusion, the accurate determination of design parameters, the adaptability of 3D printing, validation through statistical analysis and confirmation of regulatory compliance enriched this comprehensive approach, this study represents a significant achievement that opens new possibilities to address food safety challenges.

Key words: <REACTOR PROTOTYPE>, <ADITIVE MANUFACTURING>, <MILK>, <UV-C RADIATION>, <STERILIZATION>.



Abg. Ana Gabriela Reinoso. Mgs.

Ced: 1103696132

INTRODUCCIÓN

La leche, reconocida por su valioso aporte nutricional, ocupa un lugar destacado entre los productos ampliamente consumidos y producidos a nivel global. Su carácter fundamental radica en su capacidad para ser almacenada y transportada con facilidad. Sin embargo, es importante resaltar que la leche alberga microorganismos patógenos, lo cual implica un riesgo potencial al momento de su consumo. Por consiguiente, resulta crucial emplear métodos de esterilización que aseguren tanto su calidad como su seguridad. Por tal motivo, cobra relevancia la introducción de enfoques tecnológicos novedosos y eficaces en el proceso de esterilización. En tal sentido, se ha evidenciado que la utilización de radiación ultravioleta de onda corta (UV-C) para llevar a cabo la esterilización de alimentos como el agua o los jugos emerge como una alternativa sumamente viable. Este método se presenta como una opción segura y eficiente para erradicar microorganismos patógenos, garantizando al mismo tiempo una conservación adecuada de la calidad de los productos tratados. Un aspecto crucial es que esta técnica no induce modificaciones en las propiedades nutricionales y organolépticas de los alimentos, lo cual es de primordial importancia. El presente proyecto de integración curricular tiene como objetivo el diseño y desarrollo de un prototipo de reactor UV-C que permite llevar a cabo una esterilización efectiva de la leche a través de la aplicación de manufactura aditiva, también conocida como impresión 3D. Esta técnica innovadora y versátil ha experimentado un incremento significativo en su relevancia dentro de la industria alimentaria en los últimos años. Su capacidad para crear objetos personalizados con rapidez y precisión, adaptados a las necesidades específicas de cada proceso, ha sido uno de los principales factores de este ascenso. Dentro de este proyecto, se empleará la técnica de estereolitografía para la impresión del reactor, debido a que garantiza la creación de componentes con resina epoxi, un material resistente y de larga durabilidad. Es importante destacar que este material cumple con todos los requisitos sanitarios necesarios para el contacto directo con alimentos, asegurando así la seguridad y calidad del proceso de esterilización. El propósito de este proyecto radica en la consecución de un equipo que combine eficiencia y seguridad, en total concordancia con las regulaciones sanitarias en vigor en Ecuador, tal como la normativa INEN 10:2012. Con esta premisa en mente, se llevará a cabo un minucioso análisis de los parámetros esenciales para la esterilización de la leche a través de radiación UV-C. Asimismo, se realizará un estudio exhaustivo de los materiales y componentes necesarios para la construcción del reactor. Además de estas etapas, se procederá con la ejecución de pruebas experimentales que tendrán como finalidad la validación del prototipo, para lo cual, se efectuará una comparación rigurosa de los resultados obtenidos con los parámetros preestablecidos en la normativa mencionada.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

La leche de vaca se destaca como uno de los productos de origen animal más consumidos en todo el mundo, debido a su valor nutricional significativo. No obstante, es esencial reconocer que esta puede contener niveles considerablemente altos de patógenos, los cuales no son completamente eliminados (FDA, 2022). La pasteurización implica la eliminación de patógenos mediante la aplicación de calor. Sin embargo, este proceso conlleva la consecuente reducción de nutrientes, lo que impacta negativamente en su valor nutritivo (Choudhary y Bandla 2012, p.86). Un enfoque alternativo para alcanzar la esterilización de la leche consiste en emplear radiación UV-C en conjunción con reactores, su potencial radica en la capacidad de eliminar patógenos presentes en los alimentos sin recurrir al calor. Un estudio realizado por (Shah et al., 2016: pp.7-14), ha presentado una alternativa a la pasteurización al exponer la utilización de radiación de onda corta (UV-C), demostrando su capacidad para reducir los niveles de bacterias y patógenos presentes en el jugo de fruta sin incurrir en una disminución significativa del valor nutricional del producto siendo un aspecto crucial de calidad. De igual manera, (Parrotta y Bekdash, 1998, pp.73-74), propusieron la utilización de luz UV-C como un proceso no térmico y germicida aplicado a la purificación del agua. Es común hallar referencias a la implementación de reactores con el propósito de esterilizar líquidos poco opacos, tal como se evidencia en el trabajo de (Wright et al., 2000: p.564), en su estudio, emplearon un reactor UV con una película delgada para la desactivación de *Escherichia coli* en sidra de manzana. En cambio, (Geveke, 2005, pp.1739-1740), fue pionero en desarrollar un reactor UV de tubo espiral como método para reducir la cantidad de bacterias en la sidra de manzana. De esta manera, resulta evidente que la literatura abunda en ejemplos de reactores utilizados en el tratamiento de jugos o agua. Sin embargo, la aplicación de reactores UV-C para la esterilización de la leche no es tan común, ya que la leche se considera un líquido opaco. Es relevante señalar, además, que no existen modelos matemáticos para la fabricación de dichos reactores. Conforme a la investigación de (Gayán, Condón y Álvarez, 2014, p.2813), el diseño de reactores UV-C que sean capaces de reducir la presencia de microorganismos y garantizar la seguridad alimentaria continúa presentándose como un desafío en el campo de la ingeniería debido a partículas en suspensión y una alta absorbancia de radiación UV, así como los parámetros que deben ser considerados en el diseño. Por otro lado, la construcción de un reactor UV-C también puede ser considerada un desafío en virtud de factores económicos.

1.2. Justificación

La industria láctea es una entidad fundamental en el panorama industrial a nivel mundial, cuyo componente principal es la leche. En el contexto ecuatoriano, los productos lácteos adquieren una significativa relevancia, conformando un considerable 14% del Producto Interno Bruto Agroalimentario del país. Este dato subraya de manera destacada el extenso alcance que ejerce en la economía nacional (Lácteos-LATAM, 2022).

Es común que la leche suministrada por pequeños productores no se ajuste a los criterios de control establecidos. Esta situación encuentra su origen en la disparidad de costos, donde la leche cruda se valora entre \$0.25-\$0.42, mientras que la pasteurizada se ubica en un rango de \$0.85-\$0.99. Estas cifras ponen de manifiesto la notoria inversión necesaria para llevar a cabo el proceso de pasteurización en una escala reducida. Estos valores resultan injustos, lo que motiva a los pequeños productores a optar por el uso de leche no pasteurizada en la elaboración de sus productos. Este enfoque, sin embargo, acarrea un riesgo significativo para los consumidores (Moreta, 2021).

Frente a este desafío, el presente estudio dirige su enfoque hacia el diseño y desarrollo de un prototipo de reactor UV-C mediante técnicas de manufactura aditiva con el propósito central de lograr la esterilización de la leche de manera efectiva. La propuesta se alza como una alternativa a los métodos tradicionales de pasteurización, los cuales pueden inducir modificaciones en las características de los productos lácteos. En contraposición, la aplicación de radiación UV-C no conlleva ninguna modificación, durante el proceso, las proteínas y ácidos nucleicos presentes en la leche absorben la luz UV, lo que a su vez resulta en la inactivación de los microorganismos (Morales, Welti y Martín, 2019, p.5-6).

Cabe destacar que los reactores UV-C representan una innovación relativamente reciente en la industria alimentaria, lo cual los convierte en un desafío a la hora de aplicar la desinfección a líquidos alimentarios. Además, su diseño y construcción plantean retos específicos, como señalan (Gayán, Condón y Álvarez, 2014, p.2813). Sin embargo, (Guamán-Lozada et al. 2023: p.1502), han determinado una ecuación matemática que establece la dosis de radiación requerida para la eliminación efectiva de patógenos en función del espesor del líquido.

La construcción del reactor a través de la manufactura aditiva conlleva la ventaja de la reducción de costos. La elección de utilizar este método de impresión junto con resinas se traduce en una alternativa más económica en comparación con materiales más costosos como el acero inoxidable. Por consiguiente, se proporciona a los pequeños productores una vía asequible para el

procesamiento adecuado de la leche. Este enfoque contribuye a disminuir los niveles de patógenos, asegurando que los productos obtenidos estén debidamente esterilizados y, en consecuencia, reduciendo la posibilidad de enfermedades derivadas de productos lácteos insuficientemente tratados que circulan en el mercado.

1.3. Objetivos

1.3.1. *Objetivo general*

Diseñar y construir un prototipo de un reactor UV-C mediante manufactura aditiva para la esterilización de leche.

1.3.2. *Objetivos específicos*

- Determinar los parámetros de diseño y modelar matemáticamente el comportamiento del reactor.
- Diseñar y construir un prototipo de un reactor UV-C (Impreso en 3D) que sea capaz de esterilizar leche de vaca.
- Validar el prototipo mediante un análisis estadístico del resultado obtenido tras la esterilización de diferentes muestras de leche cruda comparándolas con la normativa vigente (INEN 10:2012).

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de investigación

La aplicación de la radiación UV-C con fines de preservación y esterilización de alimentos y productos alimenticios ha experimentado una evolución a lo largo del tiempo. Esta forma de radiación UV-C constituye un tipo de radiación electromagnética cuyo descubrimiento se remonta a 1801, cuando el físico alemán Johann Wilhelm Ritter identificó esta radiación mientras investigaba la descomposición del cloruro de plata mediante la exposición a la luz. En el transcurso del siglo XIX, se constató que esta forma de radiación estaba presente en la luz solar y poseía propiedades bactericidas notables. Estas propiedades se encuentran en una banda específica del espectro electromagnético, que se ubica en el rango de longitud de onda entre 100 nm y 400 nm, siendo este rango establecido de manera práctica (Cuno, 2020, p.19).

La aplicación de radiación UV-C resalta por sus notables propiedades germicidas, lo que le permite desactivar una amplia variedad de microorganismos patógenos. La tecnología basada en UV-C se erige como una solución altamente efectiva para contrarrestar las enfermedades transmitidas por alimentos, al tiempo que prolonga la vida útil al disminuir la carga microbiana sin afectar la calidad, obteniendo como resultado la preservación de la integridad de los alimentos (Singh et al., 2021: pp.3-5).

El concepto de emplear radiación UV con el fin de preservar la integridad y prolongar la vida útil de los alimentos tiene sus orígenes en la década de 1920. En ese período, los investigadores comenzaron a explorar cómo la radiación UV podía ser utilizada para desactivar los microorganismos responsables de la contaminación de los alimentos. Con el paso de las décadas, un grupo de científicos propuso el proceso de conservación de alimentos mediante irradiación. No obstante, no fue hasta 1945 que esta tecnología adquirió viabilidad económica. Con el tiempo, en los Estados Unidos, se llevaron a cabo investigaciones en torno al uso de radiación para eliminar agentes patógenos presentes en los alimentos (Martinez-Bernal, 2018, p.12).

La leche, como alimento humano, se rige por rigurosos estándares de calidad debido a su alta susceptibilidad a la contaminación. Esto puede desencadenar enfermedades y resultar en el deterioro rápido del producto. En este contexto, las metodologías no térmicas han demostrado su efectividad en la eliminación de microorganismos. Estas técnicas logran mantener tanto la funcionalidad como el valor nutricional de la leche y sus derivados lácteos sin alteraciones

significativas (Shabbir et al., 2021: p.1). La utilización de reactores UV-C con fines de esterilización constituye una aplicación de reciente adopción, cuya relevancia ha aumentado en respuesta a la creciente inquietud por la seguridad alimentaria y la necesidad de preservar la calidad y el sabor de los productos alimenticios. Este fenómeno se refleja en la investigación realizada por (Keyser et al., 2008: pp.349-350), en la cual se emplearon dos sistemas UV para inducir un flujo turbulento, permitiendo así la exposición de zumos a la luz UV-C. Esto se llevó a cabo mediante un reactor equipado con una lámpara UV-C de 30 W de potencia. Por ello, se ha observado mediante distintas investigaciones como (Giraldo Morales, 2018, pp.38-40), que la desinfección con luz UV-C es una alternativa viable a otros métodos de tratamiento de alimentos, además de que es considerado un tratamiento eficaz de leche cruda, sin alterar el valor nutricional de la misma.

Dentro de la investigación de (Choudhary et al., 2011: p.18; Bandla et al., 2012: p.88), se examinaron los reactores de flujo Dean UV de 1,6 mm de diámetro con una dosis de 0,05 J/ml para la inactivación de E. Coli y Bacillus cereus, dando como resultado una reducción de 4 log E. Coli. Mientras que, (Falguera, Pagán y Ibarz, 2011, p.1586), con el uso de tubos concéntricos verticales recomienda que para garantizar una pasteurización efectiva con cambios menores dentro de la calidad del jugo se debe optimizar las especificaciones del reactor. Por otro lado, (Matak et al., 2005: p.3178), con un flujo turbulento en un reactor UV de película fina con un tiempo de exposición de 18 segundos, se redujo Listeria monocytogenes con una dosis de $15,5 \pm 1,6$ mJ/cm². En el caso de (Reinemann et al., 2013: pp.3-4), con el uso de reactores en cuyo interior contine una lámpara UV de mercurio de baja presión, se logró en la leche de vaca una reducción de 3 log de la flora natural utilizando una dosis de UV de 1,5 J/ml.

2.2. Referencias teóricas

2.2.1. Leche

La leche, una sustancia líquida de tono blanco y opaco, emerge como el producto generado por las glándulas mamarias de criaturas lactantes, tales como vacas, cabras, ovejas y otros mamíferos. Este líquido se posiciona como un elemento nutricional primordial, entregando proteínas, grasas, vitaminas y minerales indispensables para sostener una nutrición adecuada (Delorme et al., 2020: p.147). En la actualidad, la leche y sus derivados ocupan una posición predominante debido a la trascendental relevancia de sus componentes nutricionales como fuente esencial de alimento para los consumidores (López-sobaler, Alfonso y Sabio, 2019: p.26).

2.2.2. Esterilización en alimentos

La esterilización en el ámbito alimentario representa un procedimiento dirigido a eliminar o minimizar la presencia de microorganismos en los alimentos, abarcando bacterias, hongos y virus. Este proceso se instaura con el propósito de asegurar la seguridad de los alimentos y extender la durabilidad de los productos en cuestión (Delorme et al., 2020: p.146).

La esterilización mediante radiación provoca daños en el material genético de los microorganismos al interferir en su habilidad para replicarse. Por ejemplo, las proteínas son particularmente propensas a absorber luz en la proximidad de los 280 nm, lo que afecta la integridad de la membrana. Por otro lado, la longitud de onda de 260 nm demuestra ser especialmente efectiva, ya que coincide con la longitud en la que el ADN es absorbido con mayor eficacia (Neokleous, Tarapata y Papademas, 2022: p.2).

2.2.3. Agentes patógenos de la leche

La leche sin procesar, es decir, aquella que no ha sido sometida al procedimiento de pasteurización para eliminar bacterias perjudiciales, puede albergar microorganismos potencialmente perjudiciales. Estos microorganismos son responsables de inducir una variedad de enfermedades transmitidas por los alimentos (FDA, 2022). Algunos de los agentes patógenos más comunes son:

- **Salmonella:** Bacteria que puede habitar en el tracto intestinal de algunos animales y transferirse entre personas y animales, causando síntomas como fiebre, diarrea y dolor abdominal en los seres humanos (Centers for Disease Control and Prevention, 2023a).
- **Listeria monocytogenes:** Puede dar origen a enfermedades graves, especialmente en mujeres embarazadas, personas mayores y aquellos con sistemas inmunológicos debilitados (Rodríguez y Auad, 2018, p.649).
- **Escherichia coli:** Bacteria que se encuentra en el sistema digestivo tanto de animales de sangre caliente como de humanos. Esta bacteria puede provocar infecciones del tracto urinario y del sistema digestivo, así como también la enfermedad hemolítica urémica (Centers for Disease Control and Prevention, 2023b).
- **Coliformes:** Microorganismos presentes en el sistema digestivo de animales de sangre caliente, el suelo, la vegetación y cuerpos de agua superficiales. Proceden de fuentes similares a las de los patógenos y son relativamente sencillos de identificar. Generalmente, su presencia supera la de los patógenos más graves, y su reacción ante el entorno, tratamiento de aguas residuales y tratamiento de agua es comparable a la de varios patógenos (Centers for Disease Control and Prevention, 2023c).

2.2.4. Radiación UV-C

Reconocida por su capacidad para inactivar microorganismos, entre ellos bacterias, virus y hongos. Esta propiedad ha impulsado su empleo en diversas aplicaciones con el propósito de asegurar la seguridad alimentaria y extender la durabilidad de los productos. Para lograr este efecto germicida, se utiliza una longitud de onda que oscila entre 200 nm y 280 nm, siendo la longitud de onda de 254 nm la que se ha establecido como óptima (Chantzis et al., 2023: p.1).

2.2.5. Reactores UV-C

Los reactores UV-C son instrumentos que emplean radiación ultravioleta de longitud de onda corta para neutralizar microorganismos. Esta forma de radiación UV-C es altamente eficaz en la inactivación de bacterias, virus, hongos y otros organismos perjudiciales, lo cual los hace versátiles en diversas aplicaciones, incluso en el tratamiento del agua potable. Sirven como alternativa segura y eficaz a los métodos de tratamiento químico, y presentan la ventaja adicional de no dejar residuos tóxicos en el líquido tratado (Keyser et al., 2008: p.350).

2.2.6. Número de Reynolds

El número de Reynolds es una medida adimensional que brinda información sobre cómo se comporta un flujo en relación con su densidad, viscosidad, velocidad y dimensión característica. De manera cuantitativa, las características de un flujo se determinan mediante el número de Reynolds (Re), que establece la relación entre las fuerzas axiales y tangenciales que actúan en el fluido. Si el valor de Reynolds supera los 2000, se establece un perfil de flujo turbulento completamente desarrollado. Por otro lado, cuando los valores son inferiores, se presentan perfiles de flujo laminar o de capa intermedia (Masschelein y Rice 2017: p.99).

En concordancia con (Koutchma et al. 2004: p.187), el tipo de flujo ejerce influencia en el procedimiento de tratamiento mediante luz UVC, siendo su eficacia mayor en situaciones con elevados números de Reynolds. En estas circunstancias, la mezcla en el producto se optimiza, lo que conlleva a una exposición más efectiva de los microorganismos a la radiación UV.

2.2.7. Flujo turbulento

El flujo turbulento se describe como el movimiento caótico de un fluido, donde las partículas se desplazan en trayectorias desordenadas formando remolinos pequeños y no periódicos. Este tipo de flujo se distingue por su agitación intensa y su imprevisibilidad, dado que las partículas se

desplazan en múltiples direcciones y con distintas velocidades. En el flujo turbulento, la energía cinética del fluido se disipa de manera acelerada, lo que conduce a una mezcla efectiva de las partículas (Everts, Robbertse y Spitholt, 2022, p.3).

Tal como señala (Martínez García, 2019: p. 60), la existencia de un flujo turbulento es de importancia puesto que amplifica la eficacia de la radiación UV-C. Esto se debe a que refuerza su capacidad germicida en situaciones con coeficiente de absorción elevado. Este fenómeno se origina por el incremento en la probabilidad de que haya contacto con la fuente emisora de radiación más cercana.

2.2.8. Flujo laminar

El flujo laminar denota una modalidad de movimiento de un fluido que es altamente estructurado y organizado. En este tipo de flujo, el fluido se desplaza en capas paralelas sin mezclarse, en especial cuando se da entre dos superficies planas que son paralelas. El flujo laminar se destaca por su uniformidad y regularidad, con el fluido desplazándose en una dirección constante y predecible. Las partículas del fluido siguen trayectorias paralelas y no experimentan una mezcla o agitación notables. Esta clase de flujo se evidencia en situaciones de baja velocidad y baja viscosidad del fluido (Everts, Robbertse y Spitholt, 2022, p.3).

Dentro del ámbito de la esterilización, se valora que un flujo laminar resulta más idóneo al emplear tratamientos con UV-C en reactores lineales que cuentan con áreas de tratamiento efectivas de dimensiones reducidas. Como tal, se considera una táctica efectiva para aumentar la eliminación de microorganismos (Martínez, 2019: p. 88).

2.2.9. Esterilización en líquidos opacos

La utilización de radiación ultravioleta de onda corta (UV-C) en la desinfección de agua potable es una práctica frecuente. Sin embargo, su eficacia se ve restringida en fluidos opacos como la leche y otros productos alimenticios líquidos. La capacidad de la luz ultravioleta para penetrar se ve influida por el color y la turbidez del líquido, lo que resulta en un aumento del coeficiente de absorción óptica (Ansari, Ismail y Farid, 2019, pp. 87-88). Esta restricción implica que los rayos UV exhiben una capacidad reducida o inexistente para inactivar microorganismos en líquidos opacos. Con la intención de mejorar la penetración de la radiación UV, han surgido diversos diseños de reactores UV, tales como los de película delgada, los reactores de flujo turbulento y las unidades UV de tubo flexible, que han sido empleados por investigadores en múltiples estudios (Gayán, Condón y Álvarez, 2014, p.2820; Ye et al., 2008: p.3448).

En el contexto de la esterilización, se enfrenta el desafío de tratar líquidos que carecen de transparencia. Sin embargo, es factible abordar cualquier líquido opaco como si fuese transparente a la luz ultravioleta, siempre y cuando el espesor no supere los 1,6 mm (Guevara, 2009, p.48).

2.2.10. *Manufactura aditiva*

La manufactura aditiva, o impresión 3D, es un procedimiento de producción que se fundamenta en la construcción de objetos tridimensionales por medio de la superposición de capas sucesivas de material. A diferencia de los enfoques tradicionales de fabricación, que involucran la extracción de material o la formación de piezas a partir de moldes, la manufactura aditiva posibilita la creación de objetos complejos de manera más eficiente y precisa (Almeida, Sotomíngua y Cisneros, 2021, pp.841-842).

Esta tecnología revolucionaria permite la fabricación de piezas complejas y eficientes sin que la complejidad del diseño influya significativamente en su costo. La manufactura aditiva ha logrado reducir el peso de las piezas y maximizar su rendimiento al aprovechar al máximo su potencial (Chantzis et al., 2023: p.2).

2.2.11. *Estereolitografía (SLA)*

La estereolitografía (SLA) es un proceso de impresión 3D que emplea un láser para solidificar una resina líquida en capas sucesivas. La operación comienza con una bandeja que contiene resina líquida. Un láser se desplaza por la bandeja, solidificando la resina en una capa delgada. Luego, la bandeja se desplaza hacia abajo una capa y el ciclo se repite hasta que se ha formado el objeto completo. Este método es capaz de generar objetos con superficies lisas y detalles precisos. Es una elección acertada para la creación de prototipos y modelos de alta calidad (Voet et al., 2018: p. 1403).

2.2.12. *Modelado por deposición fundida (FDM)*

El modelado por deposición fundida (FDM) es un método de prototipado rápido que emplea un filamento de plástico para construir objetos mediante la superposición de capas. Esta tecnología, económicamente accesible y de manejo sencillo, es ampliamente adoptada tanto por consumidores particulares como por empresas. Resulta ideal para elaborar prototipos de productos, componentes de repuesto y diversas creaciones de uso cotidiano. Su versatilidad permite la producción de una amplia variedad de objetos (Voet et al., 2018: p. 1403).

2.2.13. Sinterización selectiva por láser (SLS)

El sinterizado selectivo por láser (SLS) es una tecnología de impresión 3D que hace uso de un láser para fundir partículas de polvo de plástico, formando un objeto sólido. Esta técnica es altamente versátil, ya que permite crear una amplia gama de objetos, abarcando prototipos, piezas de repuesto y productos terminados. Resulta especialmente adecuada para la creación de objetos con formas complejas, ya que no requiere estructuras de soporte adicionales. Además, el SLS se caracteriza por su velocidad y eficiencia, lo que lo convierte en una elección idónea para la producción en masa (Shahrubudin, Lee y Ramlan, 2019: p.1288).

2.2.14. Manufactura de objetos laminados

La fabricación de objetos laminados (LOM) es un método de impresión 3D que emplea láminas de material recubiertas de adhesivo para construir objetos. Esta tecnología se aplica con éxito en la creación de una amplia variedad de objetos, como prototipos, componentes de repuesto y productos finales. Destaca por su capacidad para elaborar objetos con formas complejas sin necesidad de estructuras de soporte. Además, el proceso LOM es veloz y eficaz, lo que lo convierte en una elección destacada para la producción en masa (Shahrubudin, Lee y Ramlan, 2019: p.1288).

2.2.15. Materiales para la impresión 3D

La impresión 3D posee la capacidad de fabricar componentes completamente operativos en una amplia gama de materiales, incluyendo plásticos, metales, cerámicas y compuestos.

- **Metales:** Los materiales metálicos exhiben notables propiedades físicas y pueden emplearse para producir objetos de alta complejidad. Las aleaciones de cobalto presentan alta rigidez específica, resiliencia, capacidad de recuperación, elongación y se benefician de tratamientos térmicos (Shahrubudin, Lee y Ramlan, 2019: p.1289). Las aleaciones de níquel son aptas para entornos hostiles debido a su elevada resistencia a la corrosión y la habilidad de resistir temperaturas de hasta 1200 °C. Además, la impresión 3D es capaz de manufacturar objetos a partir de aleaciones de titanio, que destacan por sus propiedades distintivas, tales como ductilidad, resistencia a la corrosión y la oxidación, además de baja densidad (DebRoy et al., 2018: pp.156-178)
- **Polímeros:** Las tecnologías de impresión 3D se emplean para la creación de componentes poliméricos, abarcando desde prototipos hasta estructuras funcionales de geometrías complejas. Los materiales más comunes para la impresión 3D incluyen el ácido poliláctico (PLA), el acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), el polipropileno (PP), el polietileno (PE) y

diversas resinas. Estos materiales poliméricos, que se encuentran en estado líquido o poseen bajos puntos de fusión, son ampliamente utilizados debido a su asequibilidad, ligereza y facilidad de manipulación en el proceso de impresión 3D (Horst, Duvoisin y Vieira, 2018: p.4). Los materiales de polímeros desempeñan un papel importante en el funcionamiento de los dispositivos, a menudo como materiales inertes.

- **Cerámicas:** La cerámica es reconocida por su fortaleza, durabilidad y resistencia al calor. El polvo de alúmina puede ser procesado a través de la tecnología de impresión 3D. Aunque la alúmina presenta un proceso de curado complejo, la impresión 3D facilita la creación de piezas de alúmina con formas intrincadas y una alta densidad tras la sinterización. La estereolitografía (SLA) es utilizada para procesar materiales como la vitrocerámica y el vidrio bioactivo, mejorando de manera significativa su resistencia a la flexión. La manufactura de cerámica mediante estereolitografía (SLCM) resulta en cerámica sólida con una microestructura notablemente uniforme, además de altas resistencias a la compresión y flexión (Shahrubudin, Lee y Ramlan, 2019: p.1290).
- **Compuestos:** Los materiales compuestos han traído una revolución a las industrias de alto rendimiento debido a su notable versatilidad, bajo peso y posibilidad de personalización de propiedades. Entre estos, destacan los compuestos de polímeros reforzados con fibras de carbono y los compuestos de polímeros reforzados con fibras de vidrio. Las estructuras basadas en materiales compuestos de polímeros reforzados con fibra de carbono son altamente utilizadas gracias a su rigidez específica elevada, resistencia, capacidad de resistencia a la corrosión y comportamiento positivo frente a la fatiga. Al mismo tiempo, los compuestos de polímeros reforzados con fibras de vidrio tienen una amplia gama de aplicaciones en la impresión 3D y presentan un gran potencial debido a su relación costo-rendimiento y sus propiedades de alto desempeño (Hao et al., 2018: p.29).

2.2.16. *Uso de la tecnología UV-C en lácteos*

En la industria láctea, la tecnología UV-C es considerada una metodología no tóxica y respetuosa con el medio ambiente, ya que utiliza energía física en lugar de productos químicos. La aplicación de UV-C en el campo de la seguridad alimentaria es un avance relativamente reciente. Su proceso de inactivación de microorganismos se basa en la alteración de los ácidos nucleicos y en la modificación de la integridad de las membranas celulares y citoplasmáticas. Esto se logra mediante el uso de una longitud de onda cercana a los 260 nanómetros, que ha demostrado ser altamente eficaz en la inactivación de microorganismos que pueden contaminar la leche y otros productos lácteos (Morales, Welti y Martín, 2019, p.5-6).

El procedimiento se realiza al exponer la leche y otros productos lácteos a un flujo controlado dentro de un reactor UV-C. La acción de la luz UV-C durante esta exposición desactiva de manera efectiva los agentes patógenos, ofreciendo una alternativa altamente eficaz en comparación con los métodos convencionales de esterilización, tales como la pasteurización, la esterilización térmica y la esterilización mediante radiación ionizante (Singh et al., 2021, p. 4).

2.2.17. Efecto germicida de la luz ultravioleta

La radiación UV pertenece a la categoría de radiación no ionizante, abarcando un rango de longitud de onda de 140 a 400 nm. Dentro de este espectro, las longitudes de onda entre 250 y 280 nm se destacan por su capacidad germicida. Esto se debe a que la luz en este intervalo puede ser absorbida tanto por los ácidos nucleicos como por muchas proteínas que contienen aminoácidos aromáticos. Esta absorción permite desencadenar transformaciones que llevan a la eliminación de microorganismos. En la industria alimentaria, la radiación ultravioleta se utiliza con el propósito de extender la vida útil de los alimentos y reducir la presencia de microorganismos (Csapó et al., 2019: pp.22-23).

2.2.18. Análisis microbiológicos

Los análisis microbiológicos engloban un conjunto de técnicas y procedimientos empleados para detectar, identificar y medir la cantidad de microorganismos presentes en muestras de alimentos, agua, productos farmacéuticos y otros materiales. Estas prácticas son esenciales para evaluar la seguridad y la calidad de los productos, así como para asegurar el cumplimiento de los estándares sanitarios y las regulaciones vigentes (Quagmire, 2022).

Los análisis microbiológicos tienen un papel esencial en la evaluación de la seguridad alimentaria, la detección de brotes de enfermedades transmitidas por alimentos y la supervisión de la calidad microbiológica de los productos.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Descripción de los procesos

Dentro del contexto de este Trabajo de Integración Curricular, una vez que se han establecido los fundamentos teóricos requeridos, se propone la siguiente metodología, la cual consta de las siguientes etapas detalladas en la **Ilustración 1-3**:

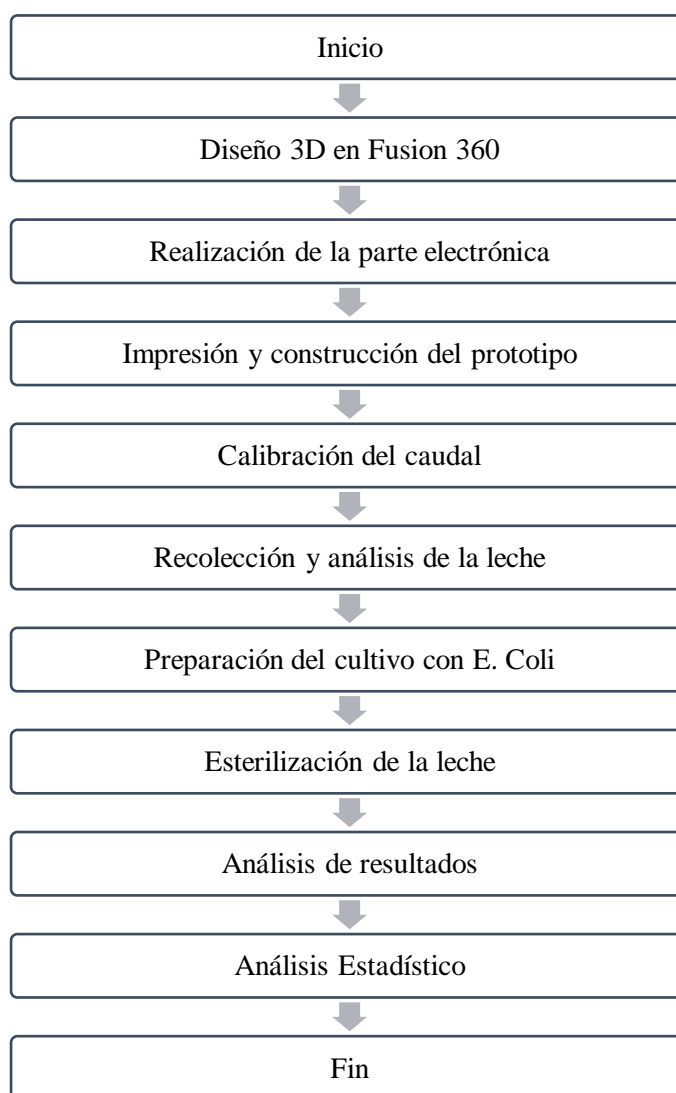


Ilustración 1-3: Metodología para el diseño y construcción del reactor UV-C

Realizado por: Sócola, 2023.

En el contexto de este trabajo, se comienza con la creación del diseño tridimensional en Fusion 360, donde se planificará la disposición de cada componente del reactor. Cada parámetro es meticulosamente considerado para asegurar un diseño preciso y funcional. Posteriormente, se aborda la parte electrónica, la cual engloba el funcionamiento tanto de la lámpara UV-C como de la bomba peristáltica. Esta última es esencial para el ascenso del fluido a lo largo del reactor, permitiendo así la esterilización efectiva de la leche.

El enfoque metodológico adoptado es de naturaleza mixta. Por un lado, se incluye un enfoque cuantitativo que involucra el conteo de microorganismos E. Coli. Esta dimensión cuantitativa se complementa con variables estadísticas que permiten validar la efectividad de la esterilización lograda. Por otro lado, se incorpora un enfoque cualitativo al considerar la evaluación sensorial al final del proceso de esterilización de la leche. Este método integral y multidimensional busca abordar cada aspecto del proceso de esterilización de manera exhaustiva, asegurando la calidad y la seguridad de los resultados obtenidos.

3.2. Materiales

3.2.1. Lámpara UV-C

La lámpara UV-C de mercurio seleccionada posee una potencia de 6 W, lo que la convierte en una herramienta eficaz para la eliminación de microorganismos presentes en la leche. Su principal función es llevar a cabo la esterilización de la leche mediante la emisión de radiación ultravioleta de onda corta. Esta radiación es capaz de inactivar los microorganismos al dañar su material genético, impidiendo su capacidad de reproducción. La lámpara UV-C se configura como un componente esencial en el proceso de esterilización del reactor diseñado. Su capacidad para desinfectar la leche asegura la seguridad y la calidad del producto final, al eliminar los potenciales agentes patógenos y microorganismos presentes en el líquido.

3.2.2. Resina epoxi

La resina epoxi es un material altamente versátil y ampliamente empleado en la fabricación de componentes para diversas aplicaciones. Una de sus cualidades destacadas es su resistencia a la corrosión, lo que la convierte en una elección adecuada para entornos donde se manejan líquidos y sustancias químicas. Esta resina también proporciona una superficie uniforme y lisa, lo que es beneficioso para facilitar el tratamiento de líquidos y la limpieza posterior. Una característica significativa es su capacidad para ser utilizada en procesos de impresión 3D. Esto permite la creación de un reactor personalizado y específico para el proceso de esterilización de la leche. La

impresión 3D con resina epoxi asegura una alta precisión en la construcción del reactor, lo que contribuye a lograr una esterilización eficiente y un control óptimo durante todo el proceso.

3.2.3. *Impresora 3D*

La impresión 3D se destaca por su capacidad para generar objetos con geometrías altamente complejas con una alta precisión. Es esencial desarrollar un diseño específico del reactor que tome en consideración tanto el flujo del líquido (leche) como la ubicación precisa de la lámpara UV-C. Esta planificación minuciosa asegura que la esterilización se realice de manera eficaz y uniforme. Además, el uso de la tecnología de impresión 3D resulta en ahorros significativos tanto en tiempo como en costos de producción, en comparación con los enfoques tradicionales de fabricación.

3.2.4. *Vidrio de borosilicato 3.3*

El vidrio de borosilicato 3.3 es utilizado para la construcción de la cámara que rodea la lámpara UV-C en el prototipo. Este tipo de vidrio exhibe propiedades excepcionales, destacando por su impresionante resistencia tanto a altas temperaturas como a productos químicos. Esta combinación de características lo convierte en una elección idónea para aplicaciones que demandan una notable durabilidad frente a la corrosión y el estrés térmico. Uno de los rasgos distintivos del vidrio de borosilicato 3.3 es su superficie uniforme y sin poros, lo que simplifica significativamente las tareas de limpieza y desinfección. Esta cualidad es particularmente valiosa en el contexto del prototipo, ya que asegura un entorno higiénico y sanitario durante todo el proceso de esterilización.

3.2.5. *Bomba peristáltica*

La bomba peristáltica, desempeña un papel crucial en la manipulación de líquidos en diversos sistemas de dosificación y transferencia de fluidos. Su aplicación resulta especialmente valiosa para evitar el contacto directo con los líquidos (McCarthy et al., 2021: p.2). En este caso, la bomba peristáltica asume la tarea de conducir la leche al reactor de manera precisa y controlada. Esta función resulta esencial para mantener un flujo uniforme y constante de leche dentro del reactor durante todo el proceso de esterilización. Cabe destacar que, la bomba peristáltica ofrece la ventaja fundamental de que el fluido en movimiento nunca entra en contacto directo con la bomba misma. Esto asegura que la leche no se vea comprometida ni contamine durante su transferencia, garantizando así la integridad del producto.

3.2.6. *Módulo regulador de flujo*

El módulo regulador de flujo emerge como un componente esencial en sistemas de transporte de líquidos al ofrecer la capacidad de supervisar y modular la velocidad y volumen de fluido. Esto se logra mediante la manipulación del voltaje, permitiendo así un control riguroso y adaptable de la cantidad de líquido que circula (ASPENCORE, 2019). Dentro del ámbito de un reactor UV-C destinado a la esterilización de la leche, un módulo regulador de flujo adquiere un papel fundamental al ser empleado para afinar y mantener un flujo invariable de leche a lo largo del sistema de esterilización. Esto garantiza que la leche sea sometida de manera uniforme a la radiación UV-C, posibilitando una esterilización eficaz y uniforme a lo largo de todo el proceso.

3.3. Normas

3.3.1. *INEN 10:2012*

La normativa INEN 10:2012 juega un papel esencial al establecer los estándares de salud que rigen la fabricación, envasado, almacenamiento, transporte y comercialización de la leche y sus derivados en el territorio de Ecuador. Esta regulación proporciona directrices específicas en relación a los criterios microbiológicos, las propiedades físico-químicas y la calidad sensorial que deben cumplirse en la leche y sus derivados. Desempeña un rol crucial en la garantía de la seguridad y calidad de los alimentos lácteos disponibles en el mercado ecuatoriano.

3.3.2. *Norma NTE INEN 14*

Dentro de la norma NTE INEN 14, se detallan las disposiciones que abarcan tanto las condiciones higiénicas como sanitarias necesarias para evitar la contaminación y, de esta manera, preservar la seguridad alimentaria y la calidad de los productos. Esta norma se enfoca en mantener la inocuidad de los alimentos. Además, se establecen los criterios microbiológicos, físico-químicos y de calidad sensorial que la leche y sus derivados deben cumplir para cumplir con los estándares requeridos.

3.4. Enfoque

3.4.1. *Método cuantitativo*

Mediante el enfoque cuantitativo, se llevó a cabo la medición y análisis del conteo de E. coli en la leche, junto con la evaluación de su seguridad alimentaria. Para lograrlo, se emplearon técnicas

estadísticas que permitieron determinar la importancia y relevancia de los resultados obtenidos. De esta manera, se pudo identificar y comunicar las modificaciones observadas en la leche después del proceso de esterilización.

3.4.2. Método cualitativo

A través del enfoque cualitativo, se llevó a cabo una evaluación sensorial de la leche. En este proceso, no se hicieron mediciones numéricas, sino que se utilizaron descripciones verbales para capturar las características sensoriales de la leche, tales como su sabor, aroma, textura y otros aspectos relevantes.

3.5. Alcance

El alcance de este trabajo de tesis abarca múltiples etapas y aspectos relacionados con el diseño y la construcción del reactor UV-C destinado a la esterilización de leche. Se llevó a cabo una investigación exhaustiva de la literatura científica y de las normativas en vigor para establecer los requisitos de sanidad y calidad necesarios en la producción de leche esterilizada.

Posteriormente, se procedió al diseño meticuloso del reactor, tomando en consideración elementos como la geometría, los materiales, las dimensiones y los componentes esenciales para su funcionamiento adecuado. Se empleó tecnología de manufactura aditiva, específicamente la estereolitografía, para la creación del reactor utilizando resina epoxi, un material resistente y adecuado para el contacto con alimentos.

Una vez finalizado el prototipo, se llevaron a cabo pruebas experimentales con el objetivo de evaluar su desempeño en términos de esterilización de la leche. Se midió la inactivación de microorganismos patógenos mediante la radiación UV-C emitida por la lámpara, tomando en cuenta parámetros como la dosis, el tiempo de exposición y el flujo del líquido.

3.6. Diseño y construcción

3.6.1. Diseño del reactor

En la fase inicial del proyecto se utilizó el software de modelado 3D Fusion 360 para lograr una representación digital detallada de todas las piezas del reactor. Este enfoque permitió una adaptación meticulosa y un ensamblaje preciso de las piezas. El prototipo se construyó mediante impresión 3D. Se aplicó la estereolitografía (SLA), la cual permite crear objetos con detalles

precisos. El prototipo se compone de tres partes principales: la parte inferior (**Ilustración 3-3**), la parte superior (**Ilustración 2-3**) y el cuerpo del reactor (**Ilustración 4-3**). Durante el diseño, se atendieron meticulosamente los aspectos geométricos del reactor, incluyendo su forma y dimensiones. Esto implicó considerar el espesor, la dosis y la radiación necesarios para lograr la eliminación efectiva de bacterias. Se eligió un diseño de formato cilíndrico, seleccionado por su capacidad intrínseca para asegurar una distribución uniforme de la radiación UV-C dentro del reactor (**Ilustración 5-3**). La elección de materiales se centró en la utilización de resina epoxi, reconocida por su resistencia y durabilidad. Además, al ser apta para el contacto con alimentos, garantiza la seguridad y la integridad del producto final. La estrategia de diseño incluyó una ubicación precisa y estratégica de la lámpara UV-C en el interior del reactor, de modo que la radiación se distribuya uniformemente, abarcando toda la leche en el proceso. Adicionalmente, se integraron otros componentes esenciales en el diseño del reactor que permiten la regulación y el monitoreo del flujo de leche de manera precisa y constante, asegurando de esta manera una esterilización controlada y altamente eficiente.

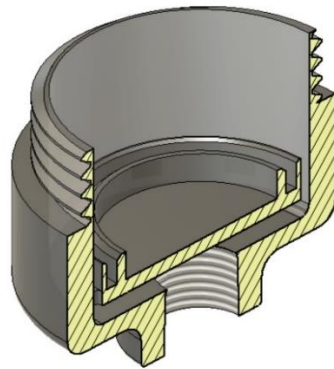


Ilustración 2-3: Pieza superior

Realizado por: Sócola., 2023.

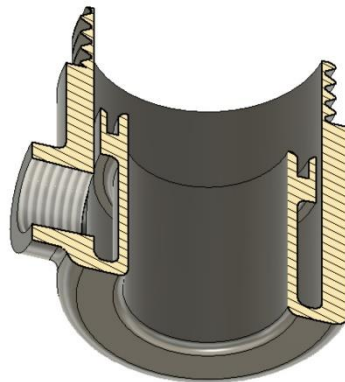


Ilustración 3-3: Pieza inferior

Realizado por: Sócola., 2023.



Ilustración 4-3: Diseño del cuerpo del reactor

Realizado por: Sócola, 2023

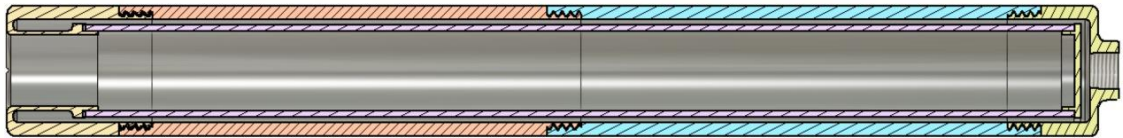


Ilustración 5-3: Diseño de la parte interna del reactor

Realizado por: Sócola, 2023.

3.6.2. Construcción del prototipo de reactor UV-C

El proceso de esterilización se inicia cuando la leche ingresa a través de la parte inferior del reactor (**Ilustración 7-3**). En el interior del reactor (**Ilustración 8-3**), se encuentra estratégicamente ubicada la lámpara UV-C de mercurio de 6W (**Ilustración 9-3**), la cual emite radiación ultravioleta de onda corta para llevar a cabo la esterilización. Para evitar posibles daños en la lámpara en caso de contacto directo de la leche con los terminales de alimentación, esta se encuentra protegida dentro de un tubo de vidrio de borosilicato 3.3. La posición estratégica de la lámpara garantiza una distribución uniforme de la radiación en toda la leche, lo que resulta en un proceso de esterilización homogéneo y efectivo. A medida que la leche asciende a lo largo del cuerpo del reactor, es impulsada por una bomba peristáltica que utiliza un mecanismo de rodillos para comprimir y desplazar la leche a lo largo del circuito de esterilización. Después de este proceso, la leche esterilizada sale a través de la parte superior del reactor (**Ilustración 6-3**). Finalmente, al alcanzar las condiciones necesarias en términos de tiempo de esterilización y flujo para la eliminación de *E. coli*, se obtiene la muestra tratada y se concluye el proceso de esterilización.



Ilustración 6-3: Parte superior del reactor

Realizado por: Sócola, 2023.



(b) Lateral



(b) Superior



(c) Inferior

Ilustración 7-3: Parte inferior del reactor

Realizado por: Sócola, 2023.



Ilustración 8-3: Cuerpo del reactor

Realizado por: Sócola, 2023.



Ilustración 9-3: Lámpara de mercurio UV-C

Realizado por: Sócola, 2023.

3.7. Tipo de estudio

El enfoque de este estudio se fundamenta en un enfoque experimental de diseño y construcción. Esto se debe a que se llevó a cabo el diseño y construcción de un prototipo específico destinado a la esterilización de la leche, haciendo uso de técnicas de manufactura aditiva. Además, se llevaron a cabo pruebas experimentales con el propósito de evaluar la eficacia del proceso de esterilización implementado. El objetivo principal consistía en lograr un producto final funcional y altamente eficiente para la esterilización de la leche.

3.8. Métodos técnicas e instrumentos de investigación empleados

3.8.1. *Fusion 360*

Fusion 360 es una poderosa herramienta de diseño asistido por computadora (CAD) y fabricación asistida por computadora (CAM) que brinda a los usuarios la capacidad de crear modelos 3D, diseños y ensamblajes de manera eficiente y con gran intuición. Este software ofrece una amplia gama de funcionalidades avanzadas, incluyendo el diseño paramétrico, la simulación y el análisis de tensiones, así como la generación de instrucciones para procesos de fabricación, como el control numérico por computadora y la impresión 3D. Una de las características destacadas de Fusion 360 es su capacidad de integrarse con otras herramientas de software y servicios en la nube, lo que posibilita la colaboración en tiempo real y una gestión de proyectos más eficiente y fluida.

3.8.2. *Impresión 3D*

La impresión 3D es una tecnología revolucionaria que posibilita la creación de objetos tridimensionales a partir de modelos digitales. Esta técnica representa una alternativa eficiente y económica a los métodos tradicionales de fabricación, como el modelado o el control numérico de máquinas herramienta. La impresión 3D brinda la capacidad de producir objetos altamente personalizados, con diseños extremadamente intrincados y la flexibilidad de elegir entre una amplia gama de materiales disponibles (González y García-carranco, 2023, P.168). La fabricación aditiva es un método de producción que posibilita la creación de objetos tridimensionales a partir de un diseño digital. Esta técnica es particularmente beneficiosa para la creación de prototipos que imitan instrumentos o dispositivos, siendo útiles para llevar a cabo pruebas y evaluaciones. La ventaja radica en la rapidez y economía con la que se pueden generar estos objetos simulados. Se emplean para ensayar nuevos diseños de productos o probar la viabilidad de innovadores procesos de manufactura. La manufacturación aditiva también puede ser utilizada para crear instrumentos reales, aunque este enfoque puede implicar plazos de fabricación más prolongados y costos más elevados (Ortiz, 2019, p.4).

3.8.3. *Estereolitografía*

La estereolitografía (SLA) es un proceso que involucra el uso de resinas epoxi en estado líquido, las cuales poseen cualidades como transparencia y flexibilidad. Estas resinas se endurecen mediante la exposición a la luz ultravioleta (UV), lo que permite la creación de objetos con

detalles precisos y formas intrincadas, incluso en capas delgadas (Shahrubudin, Lee y Ramlan, 2019, p.1289).

3.8.4. Dosis requerida

A partir del modelo matemático proporcionado en la ecuación 1, y teniendo en cuenta un espesor específico, es posible determinar la dosis necesaria para llevar a cabo la eliminación de bacterias.

$$Dosis = ((-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}))/2a \quad (1)$$

Donde:

$$a = 5,86622E-8$$

$$b = -0,00616955$$

$$c = 145,6 + 4,47222 * \text{Espesor}$$

La **Ilustración 9-3** muestra las dosis requeridas a partir del modelo matemático para un espesor específico

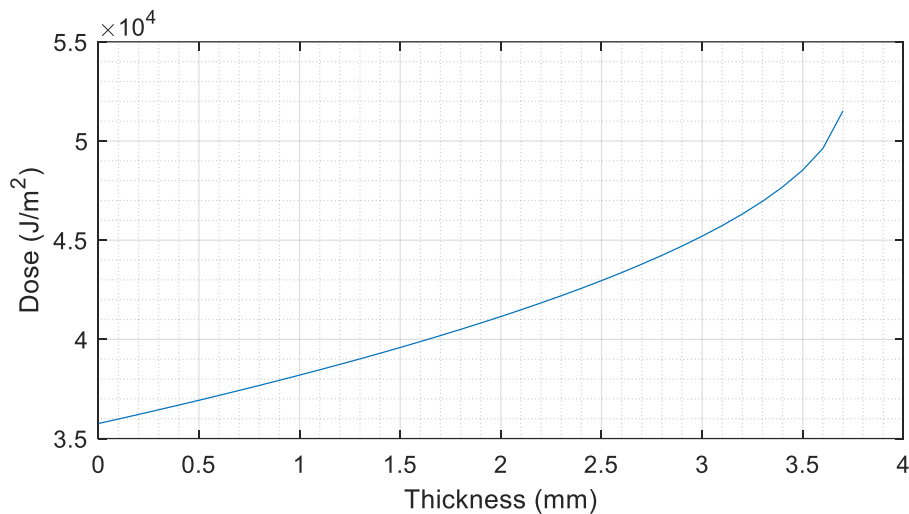


Ilustración 9-3: Dosis requeridas para un espesor específico

Fuente: (Guamán-lozada et al., 2023)

3.8.5. Medición de la irradiancia

El modelo LS126C, es un equipo medidor de irradiación, dicho equipo se utilizó para obtener los valores de irradiación necesarios para generar la dosis correcta. Este dispositivo tiene la capacidad de medir un espectro de longitud de onda UV-C que abarca desde 200 nm hasta 280 nm. Además, proporciona gráficas y valores mínimos, máximos y promedios durante el tiempo de uso del

sensor de los datos recopilados. La obtención de los datos fue necesaria para calcular el tiempo requerido para la correcta esterilización de la leche.

3.8.6. Cálculos requeridos

3.8.6.1. Tiempo de exposición UV-C

El tiempo de exposición necesario para la desinfección con luz UV-C puede variar dependiendo de la dosis y la radiación necesaria para lograr una correcta eliminación de bacterias, por lo cual se utiliza la ecuación 2:

$$t = \frac{D}{I} \quad (2)$$

Donde:

t = Tiempo de exposición

D = Dosis

I = Irradiación

3.8.6.2. Volumen

El volumen del reactor se refiere al espacio en el cual la leche a desinfectar entra en contacto con la radiación UV-C, tomando en cuenta el espesor necesario para una correcta esterilización. Por lo cual, se tiene la ecuación 3:

$$V = \pi * r^2 * h \quad (3)$$

Donde:

V = Volumen interno del reactor

r = Radio por donde pasa la leche

h = Altura de la lámpara UV-C

3.8.6.3. Flujo

El flujo, se refiere a la velocidad de la leche que pasa a través del reactor donde se encuentra la lámpara UV-C, para ello se utiliza la ecuación 4:

$$F = \frac{V}{t} \quad (4)$$

Donde:

F = Flujo de la leche

V = Volumen del reactor

t = Tiempo de exposición

3.8.6.4. Número de Reynolds

El número de Reynolds corresponde a la relación de las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas en un fluido que indican si un fluido es laminar o turbulento. Si las fuerzas viscosas son mayores, el fluido será laminar. Cuando las fuerzas de inercia son mayores que las fuerzas viscosas, causa un flujo más rápido y el número de Reynolds es mayor, por lo cual el fluido será turbulento. El número de Reynolds se expresa de la siguiente manera en la ecuación 5:

$$Re = \left(\frac{\rho}{\mu}\right) * v * D \quad (5)$$

Donde:

Re =Numero de Reynolds

ρ =Densidad del fluido

μ =Viscosidad dinámica del fluido

D =Diámetro del tubo

v =Velocidad del flujo

3.8.7. Análisis microbiológico para el recuento de *Escherichia coli*

El análisis de E. Coli, fue realizado mediante el método de ensayo NTE INEN 1529-8, cuyo proceso se detalla en la **Tabla 1-3:**

Tabla 1-3: Análisis para el recuento de E. Coli

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS PARA EL RECuento DE E. COLI	
Instrumentación	Sustancias
<ul style="list-style-type: none">• Balanza• Pipeta• Autoclave• Matraces• Tubos de ensayo	<ul style="list-style-type: none">• Eosina y azul de metileno (EMB)• Agua Destilada• Leche tratada

Proceso
<ul style="list-style-type: none"> • Preparar el agua peptonada, para ello se pesan 2,62 g de agua de peptona en 108 ml de agua destilada en tres distintos matraces de 100 ml. • Pasar 9 ml del agua de peptona en un primer tubo de ensayo y 9 ml más en un segundo tubo de ensayo, para tener disoluciones correspondientes a 10^{-1}, 10^{-2} y 10^{-3}, respectivamente para cada tratamiento. • Preparar el agar EMB, se pesan 15,12 g de agar para 420 ml de agua destilada. • Colocar lo preparado con anterioridad en el autoclave a 120 °C a una presión de 0,1 MPa. • Colocar el agar en cada caja Petri y esperar unos minutos hasta que se solidifique para posteriormente inocular cada tratamiento. • Colocar cada tratamiento obtenido luego del proceso de esterilización en los matraces que contienen el agua de peptona, los cuales corresponden a la disolución 10^{-1} • Para las disoluciones de cada tratamiento, se procede a homogenizar cada muestra de la disolución 10^{-1} y tomar 1 ml de la misma para posteriormente pasarla al primer tubo correspondiente a la disolución 10^{-2}, homogenizar dicha disolución y tomar nuevamente 1 ml de esta para el segundo tubo de ensayo correspondiente a la disolución 10^{-3}. • Inocular 0,1 ml de cada disolución en las cajas Petri posteriormente rotuladas y estriar la muestra. • Para la incubación, se coloca las cajas inoculadas boca arriba dentro de la incubadora a 37° C durante 24 horas para obtener resultados óptimos. • Una vez que el tiempo haya transcurrido, se procede a contar las colonias obtenidas.

Fuente: (INEN, 1990)

Realizado por: Sócola, 2023.

3.8.8. *Análisis de sólidos totales*

El análisis de E. Coli se llevó a cabo siguiendo el procedimiento del ensayo NTE INEN 1529-8, cuyo proceso se encuentra detallado en la **Tabla 2-3**.

Tabla 2-3: Análisis de sólidos totales

ANÁLISIS DE SÓLIDOS TOTALES	
Instrumentación	Sustancias
<ul style="list-style-type: none"> • Balanza analítica • Cápsula de platino • Baño maría • Estufa, Desecador 	<ul style="list-style-type: none"> • Agua destilada • Leche

<ul style="list-style-type: none"> • Mufla 	
Proceso	
<ul style="list-style-type: none"> • Preparar la muestra a una temperatura de 20°C. • Lavar y seque la cápsula en la estufa a 103°C por un lapso de 30 minutos, dejar enfriar en el desecador. • Pesar la cápsula vacía. • Colocar en la cápsula 5 g de muestra. • Poner en baño maría la cápsula a ebullición por 30 minutos, para luego pasarlo a la estufa a una temperatura de 103°C por 3 horas. Pasado este tiempo, dejar enfriar en el desecador y pese. • Repetir el calentamiento por lapsos de 30 minutos, enfríe y pese hasta obtener un peso constante. • La diferencia entre el peso final y el peso inicial de la cápsula es el peso de los sólidos totales en la muestra. 	

Fuente: (INEN, 1984a)

Realizado por: Sócola, L., 2023.

3.8.9. Medición de pH

El proceso de medición de pH se realizó dentro del rango permitido, cuyos detalles se encuentran especificados en la **Tabla 3-3**.

Tabla 3-3: Medición de pH

MEDICIÓN DE pH	
Instrumentación	Sustancias
<ul style="list-style-type: none"> • pH-metro • Vaso de precipitación 	<ul style="list-style-type: none"> • Leche tratada
Proceso	
<ul style="list-style-type: none"> • Encender el pH-metro y asegúrese de que funcione correctamente. • Limpiar el electrodo del pH-metro con agua destilada. • Calibrar el pH-metro con soluciones buffer de pH 4 y pH 7. • Colocar el electrodo en la muestra de leche y espere a que el valor del pH se estabilice. • Registrar el valor del pH obtenido. • Limpiar a fondo el electrodo del pH-metro con agua destilada. 	

Realizado por: Sócola, 2023.

3.8.10. Determinación de proteínas

La determinación de proteínas se llevó a cabo utilizando el método de ensayo NTE INEN 16, cuyo procedimiento completo se encuentra detallado en la **Tabla 4-3**.

Tabla 4-3: Determinación de proteínas

DETERMINACIÓN DE PROTEÍNAS	
Instrumentación	Sustancias
<ul style="list-style-type: none">• Pipetas• Baño de agua• Matrazes Kjeldahl de 500 y 800 ml• Balanza analítica• Vasos de precipitación• Balones aforados• Probetas de 50, 100 y 500 ml• Digestor• Fuente de calor• Destilador• Tubos para conexiones• Bureta• Titulador• pH-metro	<ul style="list-style-type: none">• Agua destilada• Sulfato de potasio• Sulfato de cobre• Ácido sulfúrico• Hidróxido de sodio• Solución indicadora• Ácido bórico• Ácido clorhídrico• Sulfato de amonio• Triptófano o clorhidrato de lisina• Sacarosa
Proceso	
<ul style="list-style-type: none">• Calentar la muestra de leche en un baño de agua a una temperatura de 38°C.• Preparar el matraz Kjeldahl añadiendo 5 a 10 núcleos, 15g de K₂SO₄, 1 ml de CuSO₄, 5 ml de la leche, 0,1 mg y 25 ml de H₂SO₄.• Encender el digestor y calentar el matraz Kjeldahl durante 1,8 y 2,25 horas.• Una vez finalizada la digestión, enfriar a temperatura ambiente.• Colocar 300 ml de agua en los matraces Kjeldahl de 500 ml y 400 ml de agua en el matraz de 800 ml.• Añadir 75 ml de NaOH a la muestra de digestión y transferirla al aparato de destilación.• Conectar el destilador y sumergir 50 ml de H₃BO₃ en la punta del tubo.• Agitar el matraz Kjeldahl para mezclar el contenido.• Encender la fuente de calor hasta hervir la mezcla.• Dejar hervir la mezcla hasta que tenga una ebullición irregular.	

- Apagar la fuente de calor.
- Reunir aproximadamente 150 ml de destilado.
- Titular con HCl usando un equipo especializado hasta obtener la última etapa de la curva de titulación, que es el punto de inflexión.

Fuente: (INEN, 1984b)

Realizado por: Sócola, 2023.

3.8.11. Determinación del contenido de grasa

La determinación del contenido de grasa en la leche tratada se llevó a cabo utilizando el método de ensayo NTE INEN 12. Todos los pasos y procedimientos relacionados con este proceso se detallan en la **Tabla 5-3** correspondiente.

Tabla 5-3: Determinación del contenido de grasa

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE GRASA	
Instrumentación	Sustancias
<ul style="list-style-type: none"> • Pipetas de 10 ml, 1 ml y 15 ml • Erlen Meyer • Butirómetro de Gerber • Centrífuga • Baño de agua • Baño María 	<ul style="list-style-type: none"> • Ácido Sulfúrico • Alcohol amílico • Agua destilada • Leche tratada
Proceso	
<ul style="list-style-type: none"> • Preparar la muestra de leche vertiéndola en un recipiente esterilizado y agitándola suavemente. Luego, pipetee 10,94 ml de leche en un butirómetro de Gerber. • Añadir 10 ml de ácido sulfúrico al butirómetro. • Verter la muestra de leche pipeteada en el butirómetro y esperar 3 segundos. • Añadir 1 ml de alcohol amílico al butirómetro. • Cerrar el butirómetro y agite hasta que desaparezcan las partículas blancas. • Centrifugar el butirómetro durante 4 a 5 minutos. • Retirar el butirómetro de la centrífuga y colóquelo en un baño de agua a una temperatura de 65°C durante 4 a 10 minutos. • Leer el nivel de grasa en el butirómetro. Si los datos varían de manera significativa, realizar una tercera centrifugación para así sacar un promedio de estas. 	

Fuente: (INEN, 1973)

Realizado por: Sócola, 2023.

3.8.12. Determinación de densidad

El análisis para la determinación de la densidad en la leche tratada se llevó a cabo utilizando el método de ensayo NTE INEN 11. Los pasos y procedimientos específicos para este proceso se encuentran detallados en la **Tabla 5-3**

Tabla 5-3: Determinación de densidad

DETERMINACIÓN DE DENSIDAD	
Instrumentación	Sustancias
<ul style="list-style-type: none">• Lactodensímetro• Probeta de 250 ml• Termómetro• Baño de agua	<ul style="list-style-type: none">• Leche tratada
Proceso	
<ul style="list-style-type: none">• Preparar la muestra de leche calentándola a aproximadamente la misma temperatura que el baño de agua y mezclándola suavemente hasta que esté homogénea. Si se forman grumos de crema, caliente la muestra en baño María hasta 35°-40°C, mezclar cuidadosamente y enfriar rápidamente hasta 18° - 20°C.• Mantener inclinada la probeta para evitar la formación de espuma y vierta la muestra hasta llenarla completamente.• Introducir la probeta en el baño de agua, de modo que el nivel del agua quede de 1 cm a 3 cm por debajo del borde de la probeta.• Una vez que la temperatura de la leche se haya estabilizado con una variación máxima de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, determinar su valor con el termómetro y registrarlo como t. Sumergir suavemente el lactodensímetro hasta que esté cerca de su posición de equilibrio e imprimir un ligero movimiento de rotación para impedir que se adhiera a las paredes de la probeta. Durante la inmersión, la leche debe desbordarse de modo que la zona de lectura del lactodensímetro quede por encima del plano superior de la probeta.• Esperar a que el lactodensímetro se estabilice por completo y, sin rozar las paredes de la probeta, lea la medida de la graduación correspondiente al menisco superior y registrar.	

Fuente: (INEN, 1984c)

Realizado por: Sócola, 2023.

3.9. Análisis estadístico

Luego de realizar las respectivas experimentaciones se procede a realizar un análisis que consiste en comparar los resultados obtenidos en cada repetición y observar dentro de cuál de ellos se produjo una correcta esterilización de la leche.

- **ANOVA:** Es una técnica estadística utilizada para determinar si existen diferencias significativas entre las puntuaciones medias de diferentes grupo. La tabla de resultados del ANOVA muestra los valores de p, que se utilizan para evaluar la confiabilidad estadística de las diferencias entre los grupos. La prueba F en la tabla del ANOVA se utiliza para determinar si existen diferencias significativas entre las medias.

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Funcionamiento del reactor UV-C

El reactor funciona al conectarlo a una fuente de 110v, posteriormente se procede a encender por medio de un switch el circuito, dentro de la pantalla se visualiza el momento para iniciar el proceso, así mismo, es posible visualizar el tiempo de esterilización, durante este proceso la leche ingresa al reactor con ayuda de una bomba peristáltica, el flujo de leche que ingresa se controla por medio de un potenciómetro que controla la velocidad de esta, la cual se encarga de impulsar la leche a través del sistema, asegurando un flujo constante y uniforme, el flujo que ingresa pasa por las paredes del vidrio de borosilicato 3.3 que contiene la lámpara UV-C, sometiéndose de esta manera la radiación necesaria para la eliminación de bacterias. Al finalizar el proceso de esterilización, la pantalla indica finalización del mismo, obteniendo de esta manera una completa eliminación de bacterias dentro de la leche.

4.2. Funcionamiento del circuito

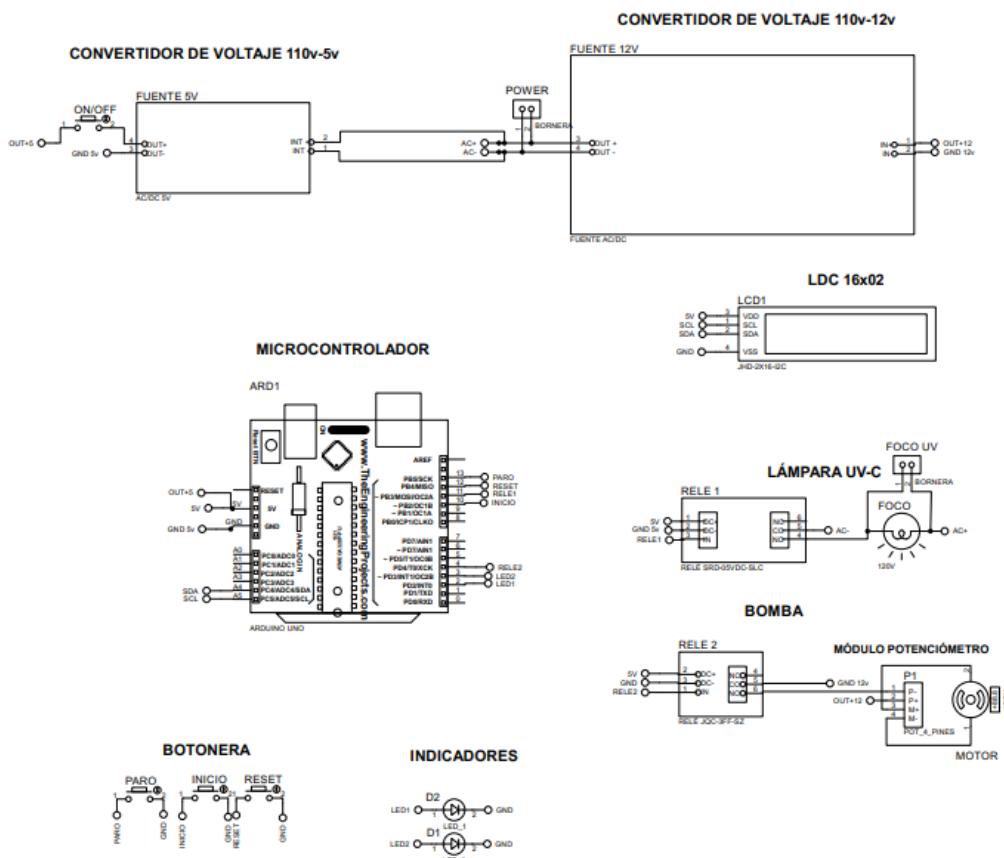


Ilustración 1-4: Circuito eléctrico del reactor UV-C

Realizado por: Sócola, 2023.

La **Ilustración 1-4** muestra el circuito eléctrico que cuenta con un convertidor de voltaje de 110v-5v, capaz de proporcionar el voltaje adecuado para encender por medio de un switch el Arduino UNO que funciona como tarjeta microcontroladora dentro del proceso. Con respecto al flujo de la leche, este es controlado mediante un módulo potenciómetro, cuya activación se da por medio de un relé JQC-3FF-SZ, dicho potenciómetro es el encargado de regular la velocidad de la bomba que funciona con 12v proporcionados mediante de un convertidor de voltaje de 110v-12v, de esta manera es posible regular el flujo de la leche que pasa por el reactor. Para encender la lámpara UV-C se utilizó un relé SRD-05VDC-SLC cuya activación comienza al momento de recibir una señal al presionar el botón de inicio que se encuentra conectado al Arduino, al iniciar el proceso se enciende el indicador D1, asimismo, cuando el proceso de esterilización termina este enciende el indicador D2 y envía una señal de finalización del proceso, que cierra la activación del relé remitiendo un mensaje de reinicio del proceso por medio del LCD, por lo cual es necesario presionar el botón de reset para iniciar un nuevo proceso de esterilización, adicionalmente, mediante un switch de paro es posible detener el proceso en caso de presentarse algún problema dentro del mismo.

4.3. Diagrama del proceso

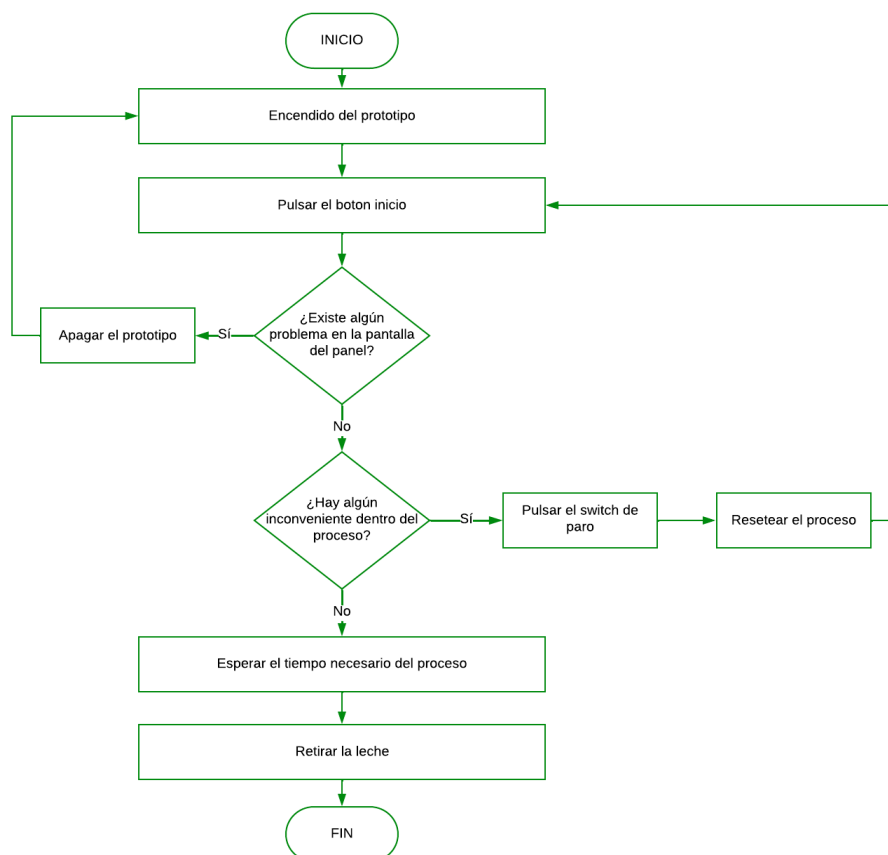


Ilustración 2-4: Diagrama de flujo del proceso de esterilización de la leche

Realizado por: Sócola, 2023.

Dentro de la **Ilustración 2-4** se encuentra un diagrama de flujo que representa el proceso de esterilización de la leche a través del uso del prototipo del reactor UV-C. El proceso inicia con el encendido del prototipo por medio del panel de control, el cual activa el circuito eléctrico. Se realiza una verificación inicial para asegurar que no haya ninguna anomalía, tanto en la pantalla del panel como en el desarrollo del proceso en sí. Una vez confirmado que todo está en orden, se procede a esperar el tiempo de esterilización necesario. Durante este período, la leche es sometida a la radiación UV-C para lograr la eliminación de las bacterias presentes en ella. Una vez que se completa el tiempo establecido, el proceso llega a su conclusión. En la pantalla del panel, se indica la finalización del procedimiento para informar al usuario. Con la esterilización finalizada, la leche tratada es retirada del reactor. Para garantizar su seguridad y calidad, la leche esterilizada es colocada en un envase limpio y apropiado para su posterior uso y consumo.

4.4. Resultados obtenidos de la esterilización de la leche

4.4.1. Dosis requerida

Utilizando la información proporcionada en la **Ilustración 5-3**, que presenta las dosis requeridas según el modelo matemático desarrollado por (Guamán-lozada et al., 2023), se puede deducir que para un espesor de 1,1 mm se necesita una dosis de $3,9 \times 10^4$ J/m² para lograr una eliminación completa de la bacteria E. Coli.

4.4.2. Valores obtenido de la irradiancia

La **Tabla 1-4** proporciona los valores promedio registrados por el medidor de radiación, los cuales revelan una radiación de 205 W/m² en la lámpara UV-C. Este valor resultó esencial para calcular el tiempo necesario en el proceso de esterilización de la leche.

Tabla 1-4: Valores de irradiancia

Tiempo (s)	Radiación promedio (W/m ²)
60	205
120	207
180	206
240	205
300	205
360	206

Realizado por: Sócola, 2023.

4.4.3. *Tiempo requerido para la esterilización*

$$t = \frac{D}{I}$$

$$t = \frac{3,9 \times 10^4 \text{ J/m}^2}{205 \text{ W/m}^2}$$

$$t = \frac{3,9 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2}{205 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^3}$$

$$t = 190,24 \text{ s}$$

4.4.4. *Volumen interno del reactor*

$$V = \pi * r^2 * h$$

$$V = \pi * (12,2^2 - 11,1^2) \text{ mm} * 150 \text{ mm}$$

$$V = 12078 \text{ mm}^3$$

4.4.5. *Flujo de leche*

$$F = \frac{V}{t}$$

$$F = \frac{12078 \text{ mm}^3}{190,24 \text{ s}}$$

$$F = 63,49 \text{ mm}^3/\text{s}$$

$$F = 0,063 \text{ ml/s}$$

4.4.6. *Velocidad de flujo*

$$v = \frac{F}{A}$$

$$v = \frac{1,2078 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}}{\pi * (0,0122^2 - 0,0111^2)\text{m}^2}$$

$$v = 0,00078 \text{ m/s}$$

4.4.7. Número de Reynolds

$$Re = \left(\frac{\rho}{\mu}\right) * v * D$$

$$Re = \frac{(0,0011 \text{ m})(0,00078 \text{ m/s})(1028 \text{ kg/m}^3)}{0,0025 \text{ kg/m.s}}$$

$$Re = 0,35$$

4.5. Resultados de análisis obtenidos en la leche

4.5.1. Resultados microbiológicos y organolépticos de la leche cruda

Los resultados reflejados en la **Tabla 2-4** presentan los hallazgos del análisis microbiológico llevado a cabo en la leche cruda, seguido del conteo de las Unidades Formadoras de Colonias (UFC). Este análisis se realizó con el propósito de establecer una comparativa entre la leche contaminada en su estado inicial y la leche esterilizada tras someterse al proceso de radiación UV-C.

Tabla 2-4: Resultados microbiológicos de la leche cruda

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO	RESULTADO	ÍNDICE MÁXIMO PERMISIBLE
E. Coli (UFC/ml)	12x10 ⁶	<10

Realizado por: Sócola, 2023.

La **Tabla 3-4** muestra los resultados de los análisis organolépticos efectuados en la leche cruda, los cuales abordan las cualidades sensoriales y perceptibles del producto. Estas evaluaciones se realizaron mediante la observación y valoración de aspectos visuales, aromáticos y gustativos, proporcionando una descripción de las características típicas asociadas con la leche cruda.

Tabla 3-4: Análisis organoléptico de la leche cruda

ATRIBUTO	RESULTADO
Color	Blanco
Olor	Característico
Sabor	Característico
Aspecto	Homogéneo libre de grumos

Realizado por: Sócola, 2023.

4.5.2. Resultados microbiológicos y organolépticos de la leche esterilizada

Los análisis microbiológicos de la leche tratada dentro del reactor con radiación UV-C fueron realizados por medio de tres tratamientos, cada uno de ellos con tres repeticiones, los resultados obtenidos se visualizan en la **Tabla 4-4**:

Tabla 4-4: Análisis de la leche tratada mediante radiación UV-C

TRATAMIENTOS	FLUJO (ml/s)	REPETICIONES	RESULTADO (UFC)	ÍNDICE MÁXIMO PERMISIBLE
T1	0,13	R1	10×10^4	<10
		R2	12×10^4	
		R3	9×10^4	
T2	0,06	R1	9×10^3	<10
		R2	8×10^3	
		R3	5×10^3	
T3	0,05	R1	0	<10
		R2	0	
		R3	0	

Realizado por: Sócola, 2023.

Luego de llevar a cabo el proceso de esterilización de la leche por medio del reactor UV-C, se realizó un análisis organoléptico de la leche tratada cuyos resultados se evidencian dentro de la **Tabla 5-4**, al comparar los resultados obtenidos con los resultados organolépticos obtenidos en la leche cruda, se puede notar una ligera diferencia dentro del color, además, cabe destacar que luego de 24 horas el olor de la leche irradiada tuvo un cierto cambio en comparación con la leche cruda:

Tabla 5-4: Análisis organoléptico de la leche irradiada

ATRIBUTO	RESULTADO
Color	Blanco, ligeramente amarillo

Olor	Característico
Sabor	Característico
Aspecto	Homogéneo libre de grumos

Realizado por: Sócola, 2023.

4.5.3. Resultados del análisis químico de la leche esterilizada

La **Tabla 6-4** presenta los resultados de los análisis químicos realizados en muestras de leche esterilizada, dichos análisis se realizaron para evaluar la composición química de la leche después del proceso de esterilización. Se examinaron varios componentes clave para evaluar su contenido, calidad y seguridad del producto, destacando de esta manera que el resultado obtenido tanto en el pH, la densidad y sólidos totales se encuentran dentro del rango permisible de la norma vigente. Sin embargo, se puede evidenciar una cantidad ligeramente mayor tanto en el resultados de proteínas como en grasas, por lo cual, se puede evidenciar que existe una diferencia en comparación con la leche pasteurizada térmicamente, sin alterar la calidad de la leche luego de ser tratada con radiación UV-C.

Tabla 6-4: Análisis químicos de la leche irradiada

DETERMINACIONES	UNIDADES	MÉTODO DE ANÁLISIS	RESULTADO	RANGO PERMISIBLE (%)
Proteína	%	INEN 16	3,02	2,9
Grasa	%	INEN 12	3,75	3,0
pH	%	INEN	6,59	6,4-6,8
Densidad		INEN 11	1,028	1,029-1,028
Sólidos totales	%	INEN 14	11,06	11,30

Realizado por: Sócola, 2023.

4.6. Análisis ANOVA

En la **Tabla 7-4** se presentan los resultados del análisis de varianza (ANOVA), en el cual se calculó el cociente F, que en este caso tiene un valor de 125,90. Este cociente F representa la relación entre la variación entre los grupos y la variación dentro de los grupos. El valor p asociado a la prueba F es menor que 0,05, lo que indica que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las UFC (unidades formadoras de colonias) en los diferentes niveles de flujo, con un nivel de significancia del 5%. Esto sugiere que el flujo es un factor

determinante en las variaciones de las unidades formadoras de colonias; en otras palabras, cuando el flujo varía, también varían las cantidades de microorganismos presentes.

Tabla 7-4: Resultados del ANOVA

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GL	CUADRADO MEDIO	RAZÓN-F	VALOR-P
Entre grupos	1,99476E10	2	9,97378E9	125,90	0,0000
Dentro de grupos	4,75333E8	6	7,92222E7		
Total	2,04229E10	8			

Realizado por: Sócola, 2023.

En la **Ilustración 3-4** se pueden observar los intervalos de Tukey, los cuales no se traslapan entre sí. Esta falta de solapamiento indica que, al variar el flujo, también se produce una variación en la cantidad de bacterias formadoras de colonias.

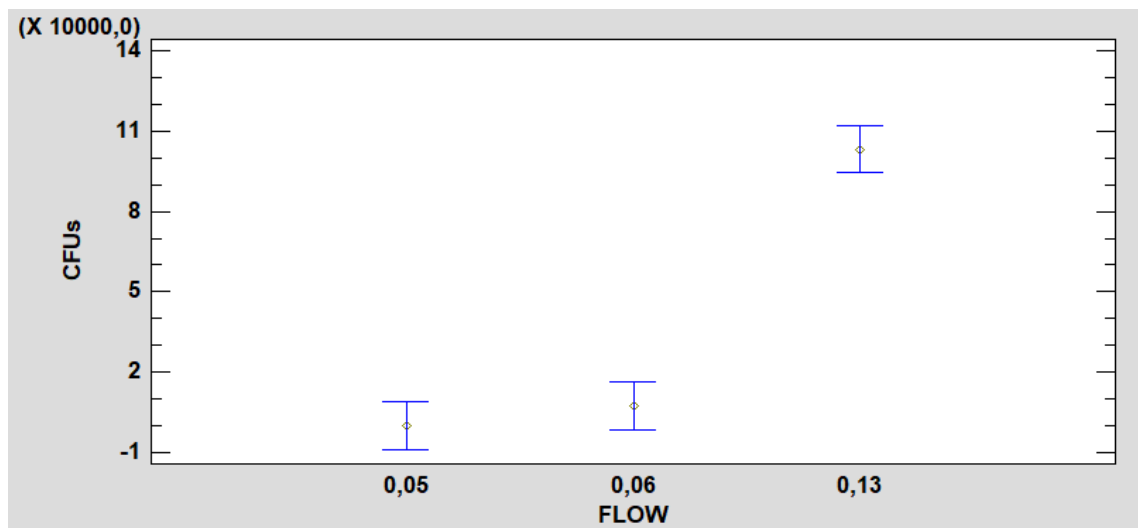


Ilustración 3-4: Intervalos Tukey

Realizado por: Sócola, 2023.

La regresión exponencial representada en la Ilustración 4-4 proporciona un modelo que facilita la predicción del flujo necesario para lograr la eliminación total de bacterias.

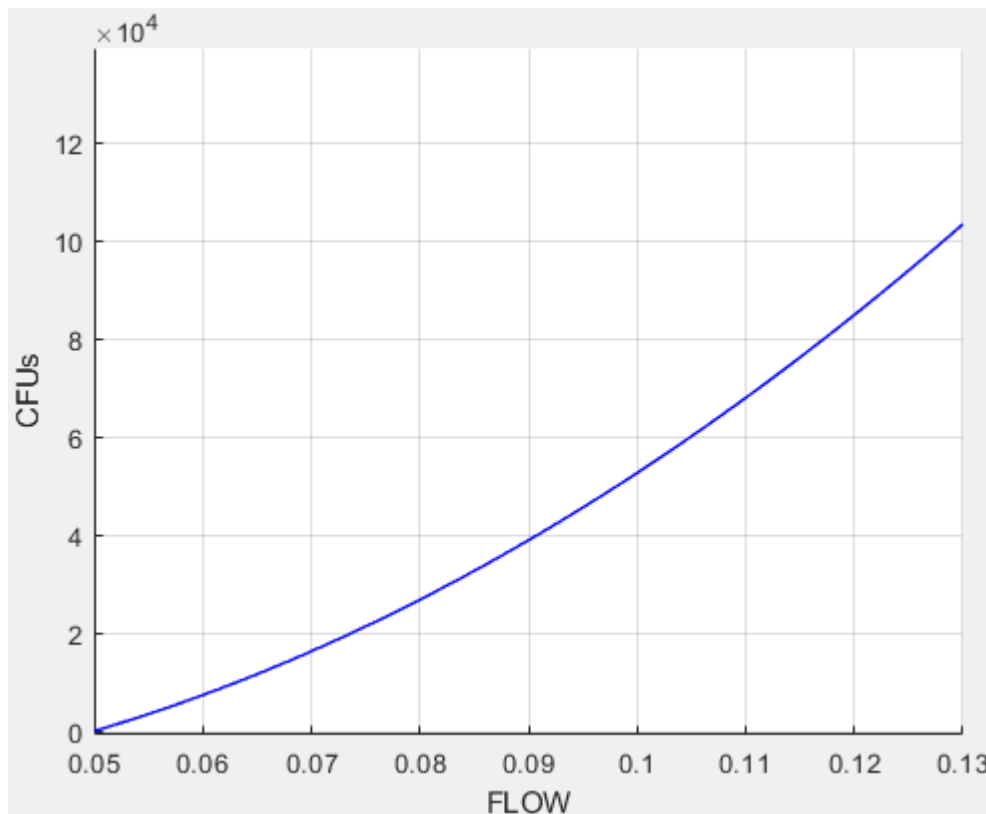


Ilustración 4-4: Flujo necesario para la eliminación de UFC

Realizado por: Sócola, 2023.

4.7. Análisis comparativo con el proceso de esterilización convencional

La comparación entre el proceso de esterilización mediante el reactor UV-C impreso en manufactura aditiva y la pasteurización térmica revela aspectos significativos, entre ellos se encuentra el costo eléctrico. En el proceso UV-C, esterilizar un litro de leche toma 5.56 horas y consume 0.0114 kW. Dado que el costo de energía eléctrica en Ecuador es de 9.2 centavos de dólar, el costo total de energía eléctrica es de 0.005 \$/h. En contraste, la pasteurización térmica, según la investigación de (Escobar, 2019, p.69), por medio de una marmita pasteurizadora al energizar el panel y al esperar la ebullición de la leche para la lograr la eliminación de bacterias, el tiempo en uso es de 30 minutos, con un consumo de energía de 1,12 kWh, lo que resulta en costo de 0,05 \$/h. Además, es importante destacar que el impacto en la calidad de la leche es más significativo en el tratamiento térmico en comparación con el UV-C. la pasteurización para calentar la leche necesita una gran cantidad de energía.

El reactor UV-C, por otro lado, requiere solo una fuente de luz UV-C. La energía necesaria para operar la fuente de luz UV-C es mucho menor que la energía necesaria para calentar la leche a temperaturas elevadas.

En términos de precio, el reactor UV-C también es más rentable que los métodos tradicionales. El reactor UV-C propuesto se puede fabricar mediante impresión 3D, lo que reduce los costos de fabricación. Además, el reactor UV-C requiere menos mantenimiento que los métodos tradicionales. A continuación, en la **Tabla 8-4** se visualiza de manera resumida la comparación entre la esterilización UV-C y térmica en la leche cruda.

Tabla 8-4: Comparación entre la esterilización UV-C y térmica en la leche cruda

ASPECTO	ESTERILIZACIÓN UV-C	PASTEURIZACIÓN COMÚN
Tiempo requerido	5,56 h	30 min
Costo total de energía	0,005 \$/h	0,05 \$/h
Tiempo de proceso	Menos eficiente en tiempo	Eficiente en tiempo
Flujo	Requiere un flujo continuo	Rápido proceso de pasteurización
Impacto en la leche	Menor impacto en la calidad	Mayor impacto debido al calentamiento

Realizado por: Sócola, 2023.

Este análisis resalta la eficiencia del proceso UV-C en términos de consumo de energía y su menor impacto en la calidad de la leche en comparación con la pasteurización térmica. Sin embargo, se debe trabajar en reducir el tiempo de esterilización para optimizar su viabilidad en la producción a gran escala.

DISCUSIÓN

Dentro de la investigación de (Bandla et al., 2012: pp. 87-89), se utilizó un reactor ultravioleta de flujo continuo con un tubo en espiral para tratar la leche cruda de vaca. Este proceso tuvo un tiempo de residencia de 17 segundos y se aplicó una dosis de 16.822 mJ/cm², dando como resultado una reducción de E. coli de 2,3 logs. En el presente trabajo, se utilizó un reactor con un espesor de 1,1 mm y una dosis de $3,9 \times 10^4$ J/m² para el tratamiento de leche cruda de vaca. El flujo utilizado fue de 0,05 ml/s, y el tiempo de exposición de 190 segundos, lo que dio lugar a una eliminación total de E. coli en las muestras tratadas. La aplicación de la tecnología de impresión 3D en la creación de componentes específicos para el reactor permitió una gran precisión en la fabricación fundamental para garantizar una esterilización eficaz y controlada. Por lo tanto, los resultados sugieren que, a pesar de las diferencias en los parámetros y en el diseño del reactor, tanto el estudio anterior como el presente lograron una reducción de E. coli en la leche cruda de vaca, manteniendo la calidad sensorial dentro de niveles aceptables.

CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó un prototipo de un reactor UV-C mediante manufactura aditiva para la esterilización de leche, el cual representa una innovación significativa en el campo de la esterilización alimentaria. Además, se observó que la aplicación de tecnologías modernas, como la impresión 3D, ofrecen un enfoque prometedor para mejorar los métodos convencionales de procesamiento y garantizar la seguridad de los alimentos.
- Se determinaron los parámetros de diseño, necesarios para tener una ausencia de *E. coli* fueron, el espesor necesario para una correcta esterilización (1,1 mm), la dosis ($3,9 \times 10^4 \text{ J/m}^2$), el tiempo de exposición (190,24 s), el flujo (0,05 ml/s) y la distribución homogénea de radiación UV-C, se obtuvo adicionalmente por medio de una curva de regresión exponencial comportamiento del reactor, la cual ayuda a predecir a que cantidad de flujo se obtiene una eliminación total de UFC.
- La fabricación del prototipo con tecnología de impresión 3D demostró su versatilidad y ventajas en términos de personalización y rapidez en el prototipado. La impresión 3D permitió la creación de componentes específicos y complejos como el espesor requerido, de esta manera se agilizó el proceso de diseño y producción capaz de esterilizar leche de vaca.
- Se analizaron estadísticamente los resultados de los tratamientos aplicados a la leche cruda de la cantidad de UFC obtenidos para los flujos de 0,13 ml/s, 0,06 ml/s y 0,05 ml/s, indicando que el flujo es un factor determinante, es decir, cuando varía el flujo varían las unidades formadoras de colonias. Por lo cual, adicionalmente por medio de un análisis físico-químico se validó el prototipo con el cumplimiento requerido de la normativa vigente (INEN 10:2012).

RECOMENDACIONES

- Limpiar de manera correcta el prototipo luego de cada uso para evitar que la siguiente muestra a esterilizar se contamine, de esta manera se obtienen menos contaminación al momento de realizar los análisis microbiológicos.
- Probar el reactor antes de usarlo para esterilizar la leche. La prueba realizada asegurará que el reactor se encuentra funcionando de manera correcta y que la leche está siendo esterilizada adecuadamente, de esta manera se evitan inconvenientes al momento de poner en marcha el tiempo requerido para el tratamiento.
- Asegurar que el diseño del prototipo minimice la exposición del operador a la radiación UV-C. Implementar una barrera física para evitar el tiempo de exposición prolongado durante todo el proceso de esterilización.
- Minimizar el tiempo de esterilización con el reactor UV-C con la finalidad de optimizar el uso de la energía y mantener de esta manera bajos los costos operativos para contribuir a un uso más eficiente de los recursos energéticos, lo que es especialmente relevante en términos de sostenibilidad y reducción del impacto ambiental.
- Contar con conocimientos elementales en microbiología y poseer habilidades adecuadas en la manipulación precisa de diversos equipos de laboratorio, además, mantener en condiciones óptimas cada muestra de leche tratada, para prevenir contratiempos en la recolección de datos.

GLOSARIO

Absorbancia: Parámetro empleado para describir la captación de energía en la espectrofotometría de absorción, que presenta una correlación directa con la concentración y sigue la pauta de la Ley de Lambert-Beer (Martinez, 2020, p.6).

Agar: Sustancia de naturaleza gelatinosa que normalmente se extrae de las algas. Esta sustancia se emplea principalmente para el cultivo de distintas bacterias y microorganismos, con el propósito de llevar a cabo experimentos y realizar diagnósticos (MDMADMIN, 2018).

Arduino: Placa electrónica de código abierto que integra un microcontrolador reprogramable y una serie de conectores hembra. Estos conectores facilitan la conexión entre el microcontrolador y diversos sensores y dispositivos de acción de manera intuitiva y directa (Romero, 2021).

Autoclave: Dispositivo responsable de someter cada artículo al contacto directo aplicando calor y presión en un ambiente cerrado, lo que permite alcanzar temperaturas muy elevadas, generalmente por encima del punto de ebullición del agua, y así destruir los microorganismos y esporas presentes en los objetos o sustancias que se introducen en él (Tranquillo, Goldberg y Allen, 2023, p.266).

Esterilización: La esterilización es el proceso mediante el cual se eliminan o destruyen todos los microorganismos presentes en un objeto, superficie o sustancia, incluyendo bacterias, virus, hongos y esporas. El objetivo principal de la esterilización es lograr la completa eliminación de cualquier forma de vida microbiana para asegurar la asepsia (López-Romero et al., 2022: p.1636)

Germicida: Sustancia o procedimiento con la capacidad de eliminar y prevenir la creación y dispersión de bacterias y otros microorganismos (Stoica, 2018, p.314).

Irradiación: Proceso en el cual un objeto o sustancia se somete a la acción de una radiación, a través de la propagación, emisión y transferencia de energía utilizando ondas o partículas a velocidades significativas. Esta radiación puede provenir tanto de fuentes naturales como de diversas fuentes creadas artificialmente (Csapó et al., 2019: p.27).

Longitud de onda: Separación entre dos puntos idénticos en sucesivos ciclos de una señal, representada por una onda que se propaga en el espacio. Esta medida está inversamente relacionada con la frecuencia, que se expresa como el número de ciclos completos de onda que ocurren en un segundo (Rosencrance, 2021).

Radiación: La radiación es una forma de energía que se encuentra de manera inherente en nuestro entorno. Diversas variedades de radiación coexisten, algunas de ellas con niveles de energía superiores a otras (Galindo, 2022).

Relé: Dispositivo electrónico capaz de administrar la entrega de energía en respuesta a una instrucción de control, posibilitando la activación o desactivación del flujo de corriente eléctrica mediante una señal lógica (SEAS 2019).

BIBLIOGRAFÍA

ALMEIDA-BODERO, I., SOTOMINGA-ESPINOZA, G. y CISNEROS-PÉREZ, N., 2021. Aplicación de la manufactura aditiva en el procesamiento de alimentos. *Polo del Conocimiento* [en línea], vol. 6, no. 9, pp. 837-856. ISSN 2550 -682X. DOI 10.23857/pc.v6i9.3083. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8094496>.

ANSARI, J.A., ISMAIL, M. y FARID, M., 2019. Investigate the efficacy of UV pretreatment on thermal inactivation of *Bacillus subtilis* spores in different types of milk. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* [en línea], vol. 52, no. February, pp. 387-393. ISSN 14668564. DOI 10.1016/j.ifset.2019.02.002. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.02.002>.

ASPENCORE, 2019. Potentiometer, Preset Potentiometers and Rheostats. [en línea]. [Consulta: 15 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.electronics-tutorials.ws/resistor/potentiometer.html>.

BANDLA, S., CHOUDHARY, R., WATSON, D.G. y HADDOCK, J., 2012. Impact of UV-C processing of raw cow milk treated in a continuous flow coiled tube ultraviolet reactor. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal* [en línea], vol. 14, no. 2, pp. 86-93. ISSN 16821130. Disponible en: <https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/1943/1620>.

CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION, 2023a. E. coli and Food Safety. [en línea]. [Consulta: 13 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.cdc.gov/foodsafety/communication/ecoli-and-food-safety.html>.

CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION, 2023b. Salmonella Homepage. [en línea]. [Consulta: 12 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.cdc.gov/salmonella/index.html>.

CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION, 2023c. Well Testing. [en línea]. [Consulta: 13 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.cdc.gov/healthywater/drinking/private/wells/testing.html>.

CHANTZIS, D., TRACY, M., LIU, H., POLITIS, D.J., FU, M.W. y WANG, L., 2023. Design optimization of hot stamping tooling produced by additive manufacturing. *Additive Manufacturing* [en línea], vol. 74. ISSN 22148604. DOI 10.1016/j.addma.2023.103728. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221486042300341X>.

CHOUDHARY, R. y BANDLA, S., 2012. Ultraviolet Pasteurization for Food Industry. *International Journal of Food Science and Nutrition Engineering* [en línea], vol. 2, no. 1, pp. 12-15. ISSN 2166-5168. DOI 10.5923/j.food.20120201.03. Disponible en: <http://article.sapub.org/10.5923.j.food.20120201.03.html>.

CHOUDHARY, R., BANDLA, S., WATSON, D.G., HADDOCK, J., ABUGHAZALEH, A. y BHATTACHARYA, B., 2011. Performance of coiled tube ultraviolet reactors to inactivate *Escherichia coli* W1485 and *Bacillus cereus* endospores in raw cow milk and commercially processed skimmed cow milk. *Journal of Food Engineering* [en línea], vol. 107, no. 1, pp. 14-20. ISSN 02608774. DOI 10.1016/j.jfoodeng.2011.06.009. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.06.009>.

CSAPÓ, J., PROKISCH, J., ALBERT, C. y SIPOS, P., 2019. Effect of UV light on food quality and safety. *Acta Universitatis Sapientiae, Alimentaria* [en línea], vol. 12, no. 1, pp. 21-41. DOI 10.2478/ausal-2019-0002. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/338474433_Effect_of_UV_light_on_food_quality_and_safety.

CUNO, H., 2020. *Diseño e implementación de un sistema monitoreo de la radiación ultravioleta en la ciudad de Arequipa* [en línea]. S.l.: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Disponible en: <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/db21daae-e0a6-45da-84e7-6d0bd681f66c/content>.

DEBROY, T., WEI, H.L., ZUBACK, J.S., MUKHERJEE, T., ELMER, J.W., MILEWSKI, J.O., BEESE, A.M., WILSON-HEID, A., DE, A. y ZHANG, W., 2018. Additive manufacturing of metallic components – Process, structure and properties. *Progress in Materials Science* [en línea], vol. 92, pp. 112-224. ISSN 00796425. DOI 10.1016/j.pmatsci.2017.10.001. Disponible en: https://modeling.matse.psu.edu//research_files/papers/2018PMS_DebRoy.pdf.

DELORME, M.M., GUIMARÃES, J.T., COUTINHO, N.M., BALTHAZAR, C.F., ROCHA, R.S., SILVA, R., MARGALHO, L.P., PIMENTEL, T.C., SILVA, M.C., FREITAS, M.Q., GRANATO, D., SANT'ANA, A.S., DUART, M.C.K.H. y CRUZ, A.G., 2020. Ultraviolet radiation: An interesting technology to preserve quality and safety of milk and dairy foods. *Trends in Food Science and Technology* [en línea], vol. 102, no. June, pp. 146-154. ISSN 09242244. DOI 10.1016/j.tifs.2020.06.001. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.06.001>.

ESCOBAR, J.C., 2019. *Diseño y construcción de una marmita para pasteurización de leche en la empresa heladera CRISSOL ubicada en el cantón Salcedo-Latacunga* [en línea]. S.l.: Universidad Técnica de Cotopaxi. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/jspui/bitstream/27000/9580/1/PI-002263.pdf>

EVERTS, M., ROBBERTSE, P. y SPITHOLT, B., 2022. The effects of surface roughness on fully developed laminar and transitional flow friction factors and heat transfer coefficients in horizontal circular tubes. *International Journal of Heat and Mass Transfer* [en línea], vol. 189, pp. 122724. [Consulta: 16 agosto 2023]. ISSN 0017-9310. DOI 10.1016/J.IJHEATMASSTRANSFER.2022.122724. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S001793102200206X#preview-section-snippets>.

FALGUERA, V., PAGÁN, J. y IBARZ, A., 2011. Effect of UV irradiation on enzymatic activities and physicochemical properties of apple juices from different varieties. *Lwt - Food Science and Technology* [en línea], vol. 44, no. 1, pp. 115-119. ISSN 00236438. DOI 10.1016/j.lwt.2010.05.028. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2010.05.028>.

FDA, 2022. Raw Milk. [en línea]. [Consulta: 13 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.fda.gov/food/resources-you-food/raw-milk>.

GALINDO, A., 2022. ¿Qué es la radiación? *OIEA* [en línea]. [Consulta: 24 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.iaea.org/es/newscenter/news/que-es-la-radiacion>.

GAYÁN, E., CONDÓN, S. y ÁLVAREZ, I., 2014. Continuous-Flow UV Liquid Food Pasteurization: Engineering Aspects. *Food and Bioprocess Technology* [en línea], vol. 7, no. 10, pp. 2813-2827. ISSN 19355149. DOI 10.1007/s11947-014-1267-0. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11947-014-1267-0>.

GEVEKE, D.J., 2005. UV inactivation of bacteria in apple cider. *Journal of Food Protection* [en línea], vol. 68, no. 8, pp. 1739-1742. ISSN 0362028X. DOI 10.4315/0362-028X-68.8.1739. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0362028X22011425?via%3Dihub>.

GIRALDO MORALES, H.D., 2018. *Efecto de la irradiación ultravioleta (UV-C), sobre la calidad e inocuidad de la leche en la hacienda «El Prado»* [en línea]. S.l.: ESPE. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/14567/T-IASA> I-

005447.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

GONZÁLEZ-CUETO, U., PÉREZ-VELÁZQUEZ, V., CLEMENTE-COBÓN, A., MAZARIEGOS-ESCOBAR, M., RUIZ-TECO, M. y RODRÍGUEZ-FELICIANO, M., 2007. Determinación de coliformes totales en los productos lácteos y su comparación entre dos queserías del municipio de Pijijiapan, Chiapas, México. *Bioquimia*, vol. 32, no. SuA, pp. 98. ISSN 0185-5751.

GONZÁLEZ, J.V. y GARCÍA-CARRANCO, S.M., 2023. Analysis of variance in additive manufacturing with 3D printing. *DYNA* [en línea], vol. 90, no. 227, pp. 167-175. DOI <https://doi.org/10.15446/dyna.v90n227.107364>. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/107364/89401>.

GUAMÁN-LOZADA, D.F., CHUQUIN VASCO, D., PARADA RIVERA, M. y PILCO BONILLA, G., 2023. Effect of milk film thickness on the efficiency of UVC radiated sterilization of raw cow's milk. *International Journal of Food Properties* [en línea], vol. 26, no. 1, pp. 1497-1505. ISSN 1094-2912. DOI 10.1080/10942912.2023.2220553. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/10942912.2023.2220553>.

GUEVARA, M., 2009. *Descontaminación de néctar y jugo de frutas con tratamiento de luz ultravioleta* [en línea]. S.l.: Universidad Central de Venezuela. Disponible en: [http://saber.ucv.ve/bitstream/10872/8814/1/Tesis Miguel Guevara.pdf](http://saber.ucv.ve/bitstream/10872/8814/1/Tesis%20Miguel%20Guevara.pdf).

HAO, W., LIU, Y., ZHOU, H., CHEN, H. y FANG, D., 2018. Preparation and characterization of 3D printed continuous carbon fiber reinforced thermosetting composites. *Polymer Testing* [en línea], vol. 65, no. September 2017, pp. 29-34. ISSN 01429418. DOI 10.1016/j.polymertesting.2017.11.004. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.polymertesting.2017.11.004>.

INEN, 1973. Determinación del Contenido de Grasa en la leche. *Norma técnica ecuatoriana* [en línea], vol. 0038, pp. 1-8. Disponible en: <https://ia801406.us.archive.org/19/items/ec.nte.0012.1973/ec.nte.0012.1973.pdf>.

INEN, 1984a. Determinación de la densidad relativa de la leche. *Norma técnica ecuatoriana* [en línea], vol. 0970, no. 351.773.137.12, pp. 1-10. Disponible en: <https://ia801409.us.archive.org/23/items/ec.nte.0011.1984/ec.nte.0011.1984.pdf>.

INEN, 1984b. Determinación de proteínas de la leche. *Norma técnica ecuatoriana* [en línea], vol.

0970, pp. 1-5. Disponible en:
<https://ia902905.us.archive.org/34/items/ec.nte.0016.1984/ec.nte.0016.1984.pdf>.

INEN, 1984c. Determinación de sólidos totales y cenizas. [en línea], vol. 0014, pp. 9. Disponible en: <https://ia601401.us.archive.org/6/items/ec.nte.0014.1984/ec.nte.0014.1984.pdf>.

INEN, 1990. Control microbiológico de los alimentos. Determinación de coliformes fecales y E.coli. *Instituto Ecuatoriano De Normalización* [en línea], vol. 8, pp. 1-7. Disponible en: <https://ia801008.us.archive.org/15/items/ec.nte.1529.8.1990/ec.nte.1529.8.1990.pdf>.

JOSÉ HORST, D. y DE ALMEIDA VIEIRA, R., 2018. Additive Manufacturing at Industry 4.0: a Review Fuzzy logic supporting decision making View project. *Article in International Journal of Engineering and Technical Research* [en línea], vol. 0869, no. 8, pp. 3. Disponible en: <https://media.neliti.com/media/publications/264786-additive-manufacturing-at-industry-40-a-e655ee3f.pdf>.

KEYSER, M., MULLER, I.A., CILLIERS, F.P., NEL, W. y GOUWS, P.A., 2008. Ultraviolet radiation as a non-thermal treatment for the inactivation of microorganisms in fruit juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* [en línea], vol. 9, no. 3, pp. 348-354. ISSN 14668564. DOI 10.1016/j.ifset.2007.09.002. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1466856407001415>.

KOUTCHMA, T., KELLER, S., CHIRTEL, S. y PARISI, B., 2004. Ultraviolet disinfection of juice products in laminar and turbulent flow reactors. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* [en línea], vol. 5, no. 2, pp. 179-189. ISSN 14668564. DOI 10.1016/j.ifset.2004.01.004. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1466856404000104>.

LÁCTEOS-LATAM, 2022. Reporte mensual de precios de leche cruda adquirida por las industrias lácteas en cumplimiento al Acuerdo Ministerial No. 394 – Ministerio de Agricultura y Ganadería. [en línea]. [Consulta: 30 noviembre 2022]. Disponible en: <https://www.agricultura.gob.ec/acuerdo-ministerial-no-394/>.

LÓPEZ-ROMERO, J.C., GARCÍA-DÁVILA, J., PEÑA-RAMOS, E.A., GONZÁLEZ-RÍOS, H., VALENZUELA-MELENDRÉS, M., OSORIA, M. y JUNEJA, V.K., 2022. Effect of Citral on the Thermal Inactivation of Escherichia coli O104:H4 in Ground Beef. *Journal of Food Protection* [en línea], vol. 85, no. 11, pp. 1635-1639. ISSN 19449097. DOI 10.4315/JFP-

22-086. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0362028X22110355?via%3Dihub>.

LÓPEZ-SOBALER, A.M., ALFONSO, U. y SABIO, X. El, 2019. Valor nutricional de los lácteos y consumo diario aconsejado. *Nutrición Hospitalaria* [en línea], vol. 36, pp. 0-4. DOI <http://dx.doi.org/10.20960/nh.02803>. Disponible en:
<https://www.nutricionhospitalaria.org/articles/02803/show#!>

MARTINEZ-BERNAL, S., 2018. *Diseño de un irradiador de alimentos para la eliminación de microorganismos mediante radiación gamma* [en línea]. S.l.: UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA. Disponible en: [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/106521/Martínez-Bernal Martí - Diseño de un irradiador de alimentos para la eliminación de microorganismos mediante radiación gamma.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/106521/Martínez-Bernal%20Martí%20-%20Diseño%20de%20un%20irradiador%20de%20alimentos%20para%20la%20eliminación%20de%20microorganismos%20mediante%20radiación%20gamma.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

MARTÍNEZ GARCIA, M., 2019. *Evaluación de la letalidad microbiana mediante tratamientos UVC en continuo y su combinación con UHPH en matrices líquidas de pH neutro* [en línea]. S.l.: Universidad Autónoma de Barcelona. Disponible en:
<https://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/670189/mmg1de1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

MARTINEZ, R., 2020. Análisis instrumental : Espectrometría de Absorción Atómica (EAA). *Universitat Politècnica de València* [en línea]. S.l.: Disponible en:
<http://hdl.handle.net/10251/138418>.

MASSCHELEIN, W.J. y RICE, R.G., 2017. *Ultraviolet light in water and wastewater sanitation* [en línea]. 1st Editio. S.l.: CRC Press. [Consulta: 13 agosto 2023]. ISBN 9781351355711. Disponible en:
https://books.google.com.ec/books?id=tEkPEAAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false.

MATAK, K.E., CHUREY, J.J., WOROBO, R.W., SUMNER, S.S., HOVINGH, E., HACKNEY, C.R. y PIERSON, M.D., 2005. Efficacy of UV light for the reduction of *Listeria monocytogenes* in goat's milk. *Journal of Food Protection* [en línea], vol. 68, no. 10, pp. 2212-2216. ISSN 0362028X. DOI 10.4315/0362-028X-68.10.2212. Disponible en:
<https://doi.org/10.4315/0362-028X-68.10.2212>.

MCCARTHY, D.T., SHI, B., WANG, M. y CATSAMAS, S., 2021. BoSL FAL pump: A small,

low-cost, easily constructed, 3D-printed peristaltic pump for sampling of waters. *HardwareX* [en línea], vol. 10, pp. e00214. ISSN 24680672. DOI 10.1016/j.ohx.2021.e00214. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ohx.2021.e00214>.

MDMADMIN, 2018. ¿Para qué sirve un agar microbiología? *MDM Científica* [en línea]. [Consulta: 24 agosto 2023]. Disponible en: <https://mdmcientifica.com/agar-microbiologia/>.

MORALES-DE LA PEÑA, M., WELTI-CHANES, J. y MARTÍN-BELLOSO, O., 2019. Novel technologies to improve food safety and quality. *Current Opinion in Food Science* [en línea], vol. 30, pp. 1-7. ISSN 22147993. DOI 10.1016/j.cofs.2018.10.009. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.10.009>.

MORETA, M., 2021. Productores de leche de Tungurahua exigen un valor justo en el precio de la leche - El Comercio. [en línea]. [Consulta: 12 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/productores-leche-tungurahua-precio-marcha.html>.

NEOKLEOUS, I., TARAPATA, J. y PAPADEMAS, P., 2022. Non-thermal Processing Technologies for Dairy Products: Their Effect on Safety and Quality Characteristics. *Frontiers in Sustainable Food Systems* [en línea], vol. 6, no. May, pp. 1-18. ISSN 2571581X. DOI 10.3389/fsufs.2022.856199. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsufs.2022.856199/full#B39>.

ORTIZ, A., 2019. Las impresoras 3D como herramientas científicas. *E.M.* [en línea], vol. 61, pp. 1-8. Disponible en: http://www.encuentros-multidisciplinares.org/revista-61/amelia_ortiz_gil.pdf.

PARROTTA, M.J. y BEKDASH, F., 1998. UV disinfection of small groundwater supplies. *Journal / American Water Works Association* [en línea], vol. 90, no. 2, pp. 71-81. ISSN 0003150X. DOI 10.1002/j.1551-8833.1998.tb08379.x. Disponible en: <https://awwa.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/j.1551-8833.1998.tb08379.x>.

QUAGMIRE, 2022. Microbiological analysis and testing at Campden BRI. [en línea]. [Consulta: 22 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.campdenbri.co.uk/services/microbiological-testing.php>.

REINEMANN, P. GOUWS, T. CILLIERS, K. HOUCK y AND J.R. BISHOP, 2013. New

Methods for UV Treatment of Milk For Improved Food Safety And Product Quality. *ASABE* [en línea], vol. 0300, no. 06. DOI 10.13031/2013.21493. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/239532099_New_Methods_for_UV_Treatment_of_Milk_For_Improved_Food_Safety_And_Product_Quality.

RODRÍGUEZ, P. y AUAD, J., 2018. Panorama de la infección por *Listeria monocytogenes*. *Revista Chilena de Infectología* [en línea], vol. 35, no. 6, pp. 649-657. DOI <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-10182018000600649>. Disponible en: <https://www.scielo.cl/pdf/rci/v35n6/0716-1018-rci-35-06-0649.pdf>.

ROMERO, J., 2021. ¿Qué es Arduino y para qué sirve? *Geeknetic* [en línea]. [Consulta: 24 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.geeknetic.es/Arduino/que-es-y-para-que-sirve>.

ROSENCRANCE, L., 2021. What is a Wavelength? Definition from SearchNetworking. [en línea]. [Consulta: 24 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.techtarget.com/searchnetworking/definition/wavelength>.

SEAS, 2019. El Relé: para qué es, para qué sirve y qué tipos existen. *SEAS* [en línea]. [Consulta: 24 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.seas.es/blog/automatizacion/el-rele-para-que-es-para-que-sirve-y-que-tipos-existen/>.

SHABBIR, M.A., AHMED, H., MAAN, A.A., REHMAN, A., AFRAZ, M.T., IQBAL, M.W., KHAN, I.M., AMIR, R.M., ASHRAF, W., KHAN, M.R. y AADIL, R.M., 2021. Effect of non-thermal processing techniques on pathogenic and spoilage microorganisms of milk and milk products. *Food Science and Technology (Brazil)* [en línea], vol. 41, no. 2, pp. 279-294. ISSN 1678457X. DOI 10.1590/fst.05820. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/cta/a/WF9KHWvw7DCW4PChLKKxsFx/?lang=en&format=pdf>.

SHAH, N.N.A.K., SHAMSUDIN, R., RAHMAN, R.A. y ADZAHAN, N.M., 2016. Fruit juice production using ultraviolet pasteurization: A review. *Beverages* [en línea], vol. 2, no. 3, pp. 1-20. ISSN 23065710. DOI 10.3390/beverages2030022. Disponible en: https://pdfs.semanticscholar.org/39a0/cc8fd545ac545fd5a003b0235484333f4295.pdf?_gl=1*_wx3pg8*_ga*MjEyMzg3NjMuMTY3NjYwMzc5OQ..*_ga_H7P4ZT52H5*MTY5Mzg1MjIzOS4xMi4wLjE2OTM4NTI2MDYuNTkuMC4w.

SHAHRUBUDIN, N., LEE, T.C. y RAMLAN, R., 2019. An overview on 3D printing technology: Technological, materials, and applications. *Procedia Manufacturing* [en línea], vol.

35, pp. 1286-1296. ISSN 23519789. DOI 10.1016/j.promfg.2019.06.089. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.089>.

SINGH, H., BHARDWAJ, S.K., KHATRI, M., KIM, K.H. y BHARDWAJ, N., 2021. UVC radiation for food safety: An emerging technology for the microbial disinfection of food products. *Chemical Engineering Journal* [en línea], vol. 417, pp. 128084. ISSN 13858947. DOI 10.1016/j.cej.2020.128084. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.128084>.

STOICA, M., 2018. *Sustainable Sanitation in the Food Industry* [en línea]. S.l.: Elsevier Inc. ISBN 9780128119358. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-811935-8.00009-3>.

TRANQUILLO, J., GOLDBERG, J. y ALLEN, R., 2023. Detailed Design. *Biomedical Engineering Design* [en línea], pp. 235-285. [Consulta: 24 agosto 2023]. DOI 10.1016/B978-0-12-816444-0.00008-0. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=4IZGEAAAQBAJ&pg=PA235&lpg=PA235&dq=10.1016/B978-0-12-816444-0.00008-0&source=bl&ots=pJyh0mdaAc&sig=ACfU3U0xD0rNJpn-QMYCC2ChtF11QUbxQ&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwi-4IHc1vWAAxV8SjABHf4wC4YQ6AF6BAgIEAM#v=onepage&q&f=false>.

VOET, V.S.D., STRATING, T., SCHNELTING, G.H.M., DIJKSTRA, P., TIETEMA, M., XU, J., WOORTMAN, A.J.J., LOOS, K., JAGER, J. y FOLKERSMA, R., 2018. Biobased Acrylate Photocurable Resin Formulation for Stereolithography 3D Printing. *ACS Omega* [en línea], vol. 3, no. 2, pp. 1403-1408. ISSN 24701343. DOI 10.1021/acsomega.7b01648. Disponible en: <https://pubs.acs.org/doi/epdf/10.1021/acsomega.7b01648>.

WRIGHT, J.R., SUMNER, S.S., HACKNEY, C.R., PIERSON, M.D. y ZOECKLEIN, B.W., 2000. Efficacy of ultraviolet light for reducing *Escherichia coli* O157:H7 in unpasteurized apple cider. *Journal of Food Protection* [en línea], vol. 63, no. 5, pp. 563-567. ISSN 0362028X. DOI 10.4315/0362-028X-63.5.563. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0362028X22000953?via%3Dihub>.

YE, Z., KOUTCHMA, T., FORNEY, L., GIORGES, A. y PIERSON, J., 2008. Optimum UV Disinfection between Concentric Cylinders. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 47, no. 10, pp. 3444-3452. DOI <https://doi.org/10.1021/ie0703641>.

ANEXOS

ANEXO A: Circuito Arduino

```
//AÑADIR LIBRERÍAS
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2); // Dirección I2C y tamaño de la pantalla
//ASIGNAR VARIABLES A LOS PINES DIGITALES
unsigned long tiempo = 0;

const int LedProceso = 2;
const int LedFinPin=3;
const int motorPin=4;
const int botonPin=10;
const int relePin = 11;
const int rstPin=12;
const int paroPin=13;

int i;

//DEFINIR LAS VARIABLES DE ENTRADA Y SALIDA
void setup() {
  pinMode(relePin, OUTPUT);
  pinMode(LedFinPin, OUTPUT);
  pinMode(LedProceso, OUTPUT);
  pinMode(motorPin, OUTPUT);
  pinMode(botonPin,INPUT_PULLUP);
  pinMode(rstPin,INPUT_PULLUP);
  pinMode(paroPin,INPUT_PULLUP);
  //
  Serial.begin(9600); // Inicializar la comunicación serial
  lcd.begin(16, 2); // Inicializar la pantalla
  lcd.backlight(); // Encender la retroiluminación (si está disponible)
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("BIENVENIDO");
  delay(2000);
```

```

    lcd.clear();
}

void loop() {
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("DE INICIO");
    tiempo = 5; // Definir tiempo
    //ACTIVACIÓN POR BOTÓN
    if(digitalRead(botonPin)==LOW){
    for (i = tiempo; i>= 0; i--) {
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("TEMPORIZADOR");
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print(i);
        lcd.print("s ");
        //ACTIVACIÓN DE RELÉ
        if(digitalRead(paroPin) == LOW){
            i=0;
        }
        if(i>0){
            digitalWrite(relePin, HIGH);
            digitalWrite(LedProceso, HIGH);
            digitalWrite(motorPin, HIGH);
        }
        else{
            digitalWrite(relePin, LOW);
            digitalWrite(LedProceso, LOW);
            digitalWrite(motorPin, LOW);
        }
        //
        delay(1000); // Esperar 1 segundo
    }
    lcd.clear();
    // FIN DEL CICLO FOR PARA EL TEMPORIZADOR
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("FIN DEL PROCESO");
}

```

```
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("RESETEE");
//FIN DEL PROCESO Y RESETEO
while(digitalRead(rstPin) == HIGH){
    //ENCENDER LED DEL FIN DE PROCESO
    digitalWrite(LedFinPin, HIGH);
    delay(100);
}
digitalWrite(LedFinPin, LOW);
lcd.clear();
}
}
```

ANEXO B: Esterilización por medio del reactor UV-C

a.

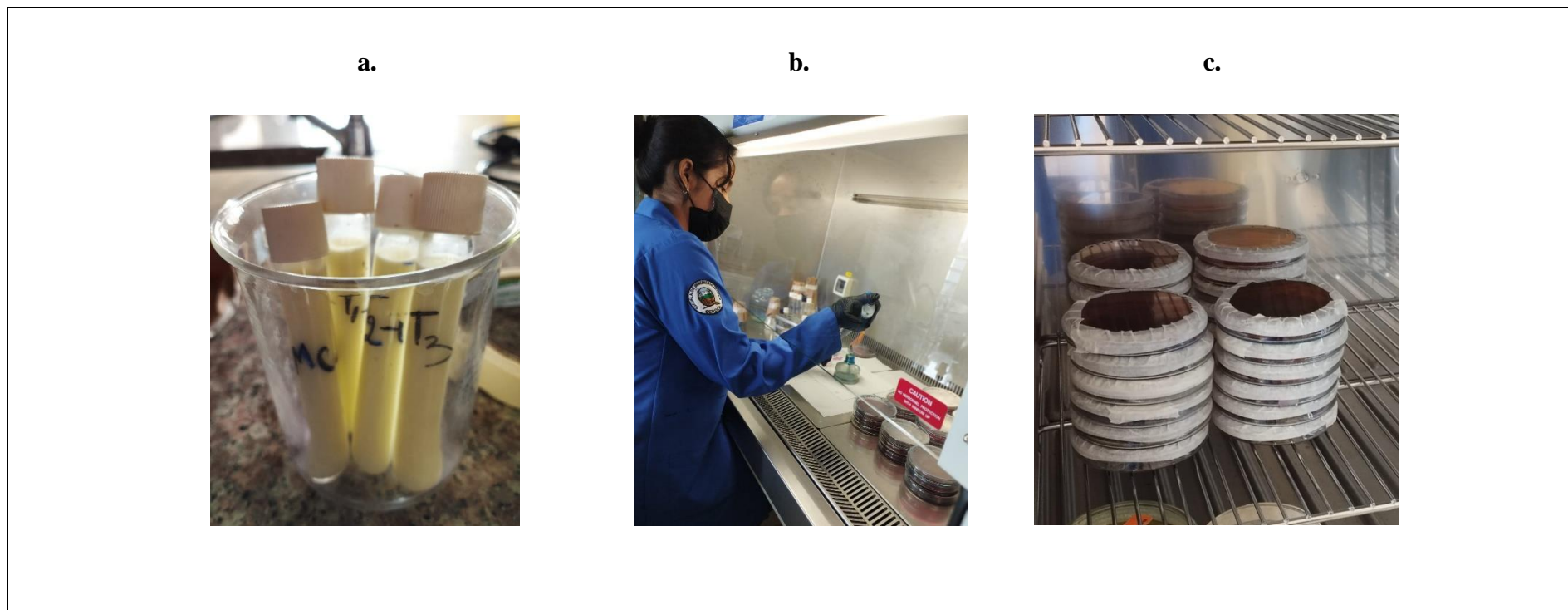


b.



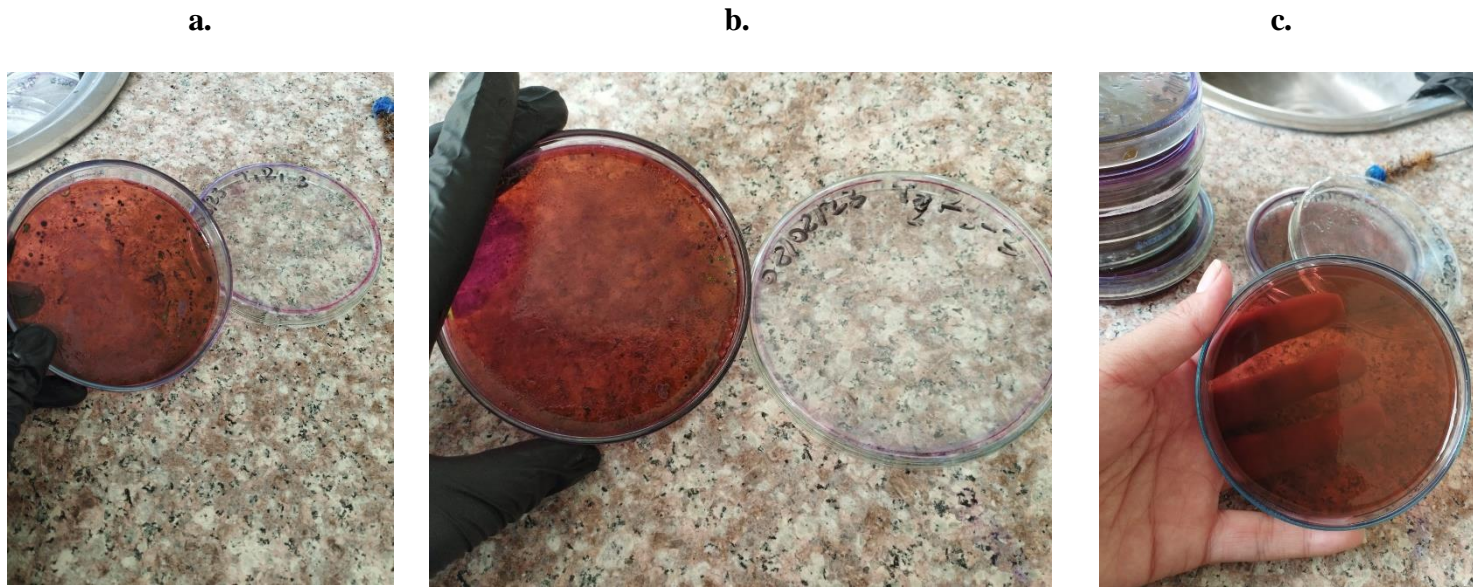
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: Sócola L.	Esterilización por medio del reactor UV-C		
a. Prototipo del reactor UV-C		Certificado			ESCALA	FECHA
		Aprobado				
b. Circuito del prototipo		Por Aprobar				
	√	Por Calificar	1:1		22/07/2023	1
		Por Verificar				

ANEXO C: Inoculación de los tratamientos



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: Sócola L.	Inoculación de los tratamientos		
a. Tratamientos obtenidos		Certificado		ESCALA	FECHA	LÁMINA
b. Inoculación de las muestras		Aprobado		1:1	08/08/2023	2
c. Incubación de las muestras a 37 °C	√	Por Aprobar				
		Por Calificar				
		Por Verificar				

ANEXO D: Resultados obtenidos de cada tratamiento



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: Sócola L.	Resultados obtenidos de cada tratamiento		
a. Tratamiento 1 b. Tratamiento 2 c. Tratamiento 3		Certificado		ESCALA	FECHA	LÁMINA
		Aprobado	1:1	08/08/2023	3	
		Por Aprobar				
	√	Por Calificar				
		Por Verificar				

ANEXO E: Análisis químicos de la leche tratada



INFORME DE ANÁLISIS QUÍMICO

ANÁLISIS SOLICITADO POR: Srta. Luisa Itamar Sócola Rivas

TIPO DE MUESTRA: Leche irradiada

FECHA DE RECEPCIÓN: 10 de agosto del 2023

PROCEDENCIA: Riobamba

EXAMEN FÍSICO

ATRIBUTO	Resultado
Color	Bianco
Sabor	Dulce
Aspecto	Homogéneo libre de grumos

DETERMINACIONES	UNIDADES	MÉTODO DE ANÁLISIS	RESULTADOS
Proteína (BS)	%	INEN 16	3.02
Grasa (BS)	%	INEN 12	3.75
pH	%	INEN	6.59
Densidad		INEN 11	1.028
Sólidos totales	%	INEN 14	11.06

RESPONSABLE:

GINA
ELLENBET
R. ALVAREZ
REYES

SAQMIC Servicio de Análisis
Químicos y
Microbiológicos
Dra. Gina Álvarez
Telf.: 2 924 322 // Cel.: 0998580374

Dra. Gina Álvarez R.

El informe sólo afecta a la muestra solicitada a ensayo; el informe no deberá reproducirse sino en su totalidad previo autorización de los responsables.

*La muestra fue receptada en laboratorio.

Avenida 9 de Octubre # 12 y Madrid 9
Cortázaros. ©0998580374-032 942 322
Saqmic Laboratorio
Riobamba - Ecuador

saqmic



esPOCH

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL**

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 18 / 02 / 2022

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Luisa Itamar – Sócola Rivas
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Química
Título a optar: Ingeniera Química
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo

2079-DBRA-UPT-2023