



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA**

**EVALUACIÓN DEL USO DE LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA  
DE ONDA CORTA (UV-C) COMO MÉTODO DE  
ESTERILIZACIÓN DE BIOPLÁSTICOS**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO QUÍMICO**

**AUTOR:**

**GEOVANNY ALEXANDER ORDOÑEZ BAÑO**

Riobamba – Ecuador

2023



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA**

**EVALUACIÓN DEL USO DE LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA  
DE ONDA CORTA (UV-C) COMO MÉTODO DE  
ESTERILIZACIÓN DE BIOPLÁSTICOS**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO QUÍMICO**

**AUTOR:** GEOVANNY ALEXANDER ORDOÑEZ BAÑO

**DIRECTOR:** ING. DARIO FERNANDO GUAMAN LOZADA

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Geovanny Alexander Ordoñez Baño

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, Geovanny Alexander Ordoñez Baño, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados de este 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 pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 30 de enero de 2023

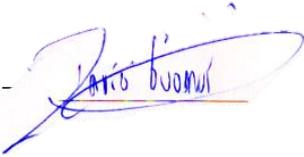
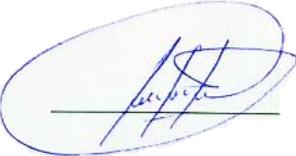


**Geovanny Alexander Ordoñez Baño**

**210039648-6**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
**CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **EVALUACIÓN DEL USO DE LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA DE ONDA CORTA (UV-C) COMO MÉTODO DE ESTERILIZACIÓN DE BIOPLÁSTICOS**, realizado por el señor: **GEOVANNY ALEXANDER ORDOÑEZ BAÑO**, 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.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Dr. Fabian Ernesto Arias Arias <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		23-04-24
Ing. Darío Fernando Guamán Lozada <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		23-04-24
Ing. Linda Mariuxi Flores Fiallos <b>ASESORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		23-04-24

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo está dedicado a mi madre Georgina Baño, por el apoyo incondicional que me ha brindado para cumplir este sueño y por siempre ser mi guía para impulsarme a lograr esta meta tan anhelada, también se lo dedico a mi difunto padre Geovanny Ordoñez que, a pesar de no acompañarme de forma presente debido a circunstancias ajenas a él, me dejó un seguro económico que ha sido fundamental para mi formación profesional.

Geovanny

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mi familia, mis padres, hermanos y amistades, ya sea por el apoyo económico o emocional que me han brindado, esto ha significado un pilar fundamental para cumplir este anhelado propósito, para siempre mantenerme motivado y no desfallecer en el intento. Doy gracias a Dios por darme salud y vida, para poder cumplir este sueño tan deseado e iluminar el camino que debo seguir sin desmayar. También agradezco al Ing. Darío Guamán y a la Ing. Linda Flores por ser una guía primordial en el desarrollo de este trabajo de titulación.

Geovanny

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xvi
SUMMARY.....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	1

### CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2. Problema general de investigación.....	2
1.3. Problemas específicos de investigación.....	2
1.4. Objetivos.....	3
1.4.1. <i>Objetivo general</i> .....	3
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	3
1.5. Justificación.....	3
1.5.1. <i>Justificación Teórica</i> .....	3
1.5.2. <i>Justificación metodológica</i> .....	4
1.5.3. <i>Justificación práctica</i> .....	4
1.6. Hipótesis.....	5

### CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Antecedentes de investigación.....	6
2.2. Referencias teóricas.....	7
2.2.1. <i>Materia prima</i> .....	7
2.2.1.1. <i>Yuca</i> .....	7
2.2.2. <i>Aditivos plastificantes</i> .....	8
2.2.2.1. <i>Almidón</i> .....	8

2.2.2.2. <i>Glicerina</i> .....	8
2.2.2.3. <i>Ácido acético</i> .....	8
2.2.3. <i>Instrumentos de radiación ultravioleta</i> .....	9
2.2.3.1. <i>Lampara ultravioleta</i> .....	9
2.2.4. <i>Radiación</i> .....	10
2.2.4.1. <i>Clasificación de la según criterios de categorización</i> .....	10
2.2.4.2. <i>Tipos de radiación</i> .....	12
2.2.5. <i>Radiación ultravioleta</i> .....	13
2.2.6. <i>Bioplástico</i> .....	13
2.2.6.1. <i>Composición del bioplástico</i> .....	14
2.2.7. <i>Contaminación por plásticos tradicionales</i> .....	14
2.2.8. <i>Biodegradación</i> .....	15
2.2.9. <i>Diseño de experimentos</i> .....	15
2.2.10. <i>Análisis de varianza</i> .....	15

### CAPÍTULO III

3. <b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	17
3.1. <b>Enfoque de investigación</b> .....	17
3.1.1. <i>Método cuantitativo</i> .....	17
3.1.2. <i>Método deductivo</i> .....	17
3.1.3. <i>Método inductivo</i> .....	17
3.2. <b>Nivel de investigación</b> .....	17
3.3. <b>Diseño de investigación</b> .....	18
3.3.1. <i>Según la manipulación o no de la variable independiente</i> .....	18
3.3.2. <i>Según las intervenciones en el trabajo de campo</i> .....	18
3.4. <b>Tipo de estudio</b> .....	18
3.5. <b>Población y planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra</b> .....	18
3.5.1. <i>Población y planificación</i> .....	18
3.5.2. <i>Selección de la muestra</i> .....	19
3.5.3. <i>Tamaño de la muestra</i> .....	19
3.6. <b>Métodos, técnicas e instrumentos de investigación</b> .....	20
3.6.1. <i>Proceso metodológico para la obtención del almidón de yuca</i> .....	20
3.6.2. <i>Proceso metodológico para la elaboración de bioplástico a partir del almidón de yuca</i>	

3.6.3. Procedimiento para la esterilización de las láminas de bioplástico de almidón yuca	23
3.6.4. Procedimiento para la cuantificación de microorganismos	24
3.6.5. Procedimiento para la evaluación de la degradabilidad de las láminas	25
3.6.6. Técnicas	27
3.6.6.1. Diseño factorial	27
3.6.6.2. Medición de la dosis de radiación	27
3.6.6.3. Medición de la biodegradación	28
3.6.7. Instrumentos de investigación	28
3.6.7.1. Equipo de esterilización UV-C	28
3.6.7.2. Medidor de luz ultravioleta (LS126C)	28

## CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	29
4.1. Láminas de bioplástico	29
4.1.1. Pruebas mecánicas del blanco	29
4.2. Determinación del tiempo de radiación ultravioleta de onda corta	30
4.3. Resultados de la cuantificación de los microorganismos posterior a la esterilización	35
4.4. Condiciones de degradación para las láminas de bioplástico	39
4.4.1. Condiciones de las láminas puestas a degradar al ambiente	39
4.4.2. Condiciones de las láminas colocadas a degradar en el agua	39
4.4.3. Condiciones de las láminas colocadas a degradar en tierra	40
4.4.3.1. Determinación de la materia orgánica	40
4.5. Análisis estadístico de la dosis y la contaminación	40
4.5.1. Primera repetición	40
4.5.1.1. Análisis de varianza de la Primera Repetición	41
4.5.1.2. Gráfica del modelo ajustado	41
4.5.2. Segunda repetición	42
4.5.2.1. Análisis de varianza de la segunda repetición	43
4.5.2.1. Gráfica del modelo ajustado	43
4.5.3. Tercera repetición	44
4.5.3.1. Análisis de varianza de la tercera repetición	44
4.5.3.2. Gráfica del modelo ajustado	45
4.6. Análisis estadístico de la dosis y la degradabilidad de las láminas de bioplásticos	45

<b>4.6.1. <i>Análisis de los supuestos del análisis de varianza</i></b> .....	45
<b>4.6.1.1. <i>Normalidad</i></b> .....	45
<b>4.6.1.2. <i>Homocedasticidad</i></b> .....	46
<b>4.6.1.3. <i>Independencia</i></b> .....	47
<b>4.6.2. <i>Análisis de varianza de la degradabilidad respecto a la dosis utilizada</i></b> .....	47
<b>CONCLUSIONES</b> .....	50
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	52

**BIBLIOGRAFÍA**

**ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b> Clasificación de la radiación según su naturaleza. ....	11
<b>Tabla 2-2:</b> Tipos de radiaciones ionizantes.....	12
<b>Tabla 3-2:</b> Ejemplos de radiaciones no ionizantes.....	12
<b>Tabla 4-2:</b> Clasificación de la luz ultravioleta. ....	13
<b>Tabla 1-3:</b> Diseño factorial 3 <sup>2</sup> . ....	27
<b>Tabla 1-4:</b> Formulación del blanco. ....	29
<b>Tabla 2-4:</b> Evaluación preliminar del blanco.....	29
<b>Tabla 3-4:</b> Resultados de las pruebas mecánicas. ....	29
<b>Tabla 4-4:</b> Datos de radiación medidos.....	30
<b>Tabla 5-4:</b> Dosis de radiación UV-C utilizado para la esterilización de frutas.....	30
<b>Tabla 6-4:</b> Tiempos calculados a partir de las dosis revisadas en bibliografía. ....	32
<b>Tabla 7-4:</b> Valores de la intensidad de radiación medidos. ....	32
<b>Tabla 8-4:</b> Dosis UV-C para esterilizar frutas.....	34
<b>Tabla 9-4:</b> Cuantificación de microorganismos. ....	36
<b>Tabla 10-4:</b> Resultados de la cuantificación de microorganismos. ....	36
<b>Tabla 11-4:</b> Cuantificación de microorganismos realizada en la ESPOCH (Primera Repetición). .....	37
<b>Tabla 12-4:</b> Cuantificación de microorganismos realizada en la ESPOCH (Segunda Repetición). ....	37
<b>Tabla 13-4:</b> Cuantificación de microorganismos (Tercera Repetición). ....	38
<b>Tabla 14-4:</b> Cuantificación de una lámina de bioplástico esterilizada por las dos caras (arriba y abajo).....	38
<b>Tabla 15-4:</b> Cuantificación de microorganismos de la parte inferior de la lámina (cara no esterilizada).....	39
<b>Tabla 16-4:</b> Condiciones del medio de degradación Agua. ....	39
<b>Tabla 17-4:</b> Condiciones del medio de degradación Agua. ....	39
<b>Tabla 18-4:</b> Condiciones del medio de degradación Tierra. ....	40
<b>Tabla 19-4:</b> Valores de la contaminación de las láminas respecto a la dosis de radiación. ....	41
<b>Tabla 20-4:</b> Tabla ANOVA para Contaminación por Dosis. ....	41
<b>Tabla 21-4:</b> Valores de la contaminación de las láminas respecto a la dosis de radiación. ....	42
<b>Tabla 22-4:</b> Tabla ANOVA para Contaminación por Dosis. ....	43
<b>Tabla 23-4:</b> Valores de la contaminación de las láminas respecto a la dosis de radiación. ....	44
<b>Tabla 24-4:</b> Tabla ANOVA para Contaminación por Dosis (Tercera Repetición). ....	44
<b>Tabla 25-4:</b> Datos de la degradabilidad respecto a la dosis aplicada. ....	48

**Tabla 26-4:** Análisis de varianza para el efecto (porcentaje de degradación)..... 49

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1-2:</b> Estructura del glicerol.....	8
<b>Ilustración 2-2:</b> Estructura del ácido acético.....	9
<b>Ilustración 3-2:</b> Partes de una lampara ultravioleta.....	9
<b>Ilustración 4-2:</b> Clasificación de la radiación según su fuente.....	10
<b>Ilustración 5-2:</b> Clasificación de la radiación según su efecto biológico.....	11
<b>Ilustración 6-2:</b> Diagrama de la elaboración de bioplástico.....	14
<b>Ilustración 1-3:</b> Diagrama de selección de muestras.....	19
<b>Ilustración 2-3:</b> Diagrama de flujo del proceso de obtención del almidón de yuca.....	20
<b>Ilustración 3-3:</b> Procedimiento para la elaboración del bioplástico.....	22
<b>Ilustración 4-3:</b> Procedimiento para la esterilización de las láminas de bioplástico de yuca... ..	23
<b>Ilustración 5-3:</b> Procedimiento para cuantificación de microorganismos.....	24
<b>Ilustración 6-3:</b> Diagrama de flujo para la determinación de degradación por pérdida de área.....	26
<b>Ilustración 1-4:</b> Gráfica de la Regresión Polinomial-Contaminación versus Dosis.....	42
<b>Ilustración 2-4:</b> Gráfica de la Regresión Polinomial-Contaminación versus Dosis.....	43
<b>Ilustración 3-4:</b> Gráfica de la Regresión Polinomial-Contaminación versus Dosis.....	45
<b>Ilustración 4-4:</b> Gráfico de la probabilidad normal de los residuos.....	46
<b>Ilustración 5-4:</b> Gráfico del supuesto de homocedasticidad.....	46
<b>Ilustración 6-4:</b> Gráfico del supuesto de independencia.....	47

## ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** DETERMINACIÓN DEL ÁREA PERDIDA DE LA LÁMINA COLOCADA A DEGRADAR EN TIERRA.
- ANEXO B:** MAQUINA UNIVERSAL EMPLEADA PARA LAS PRUEBAS MECÁNICAS DE LAS LÁMINAS DE BIOPLÁSTICO.
- ANEXO C:** YUCA DESCARTADA DEBIDO A SU CONTAMINACIÓN
- ANEXO D:** PRUEBA DE LUGOL DEL ALMIDÓN DE YUCA
- ANEXO E:** SEDIMENTACIÓN DEL ALMIDÓN DE YUCA
- ANEXO F:** TAMIZADO DEL ALMIDÓN DE YUCA.
- ANEXO G:** TRITURACIÓN DEL ALMIDÓN DE YUCA.
- ANEXO H:** ELABORACIÓN DE LAS LAMINAS DE BIOPLÁSTICO.
- ANEXO I:** PLACA SEMBRADA LIMPIA PERTENECIENTE AL TRATAMIENTO 3 (PRIMERA REPETICIÓN).
- ANEXO J:** PLACAS SEMBRADAS PERTENECIENTES AL TRATAMIENTO 1 (SEGUNDA REPETICIÓN).
- ANEXO K:** PLACAS SEMBRADAS PERTENECIENTES AL TRATAMIENTO 3 (SEGUNDA REPETICIÓN).
- ANEXO L:** LÁMINAS COLOCADAS EN LOS DISTINTOS MEDIOS DE DEGRADACIÓN (AMBIENTE, AGUA Y TIERRA).
- ANEXO M:** LÁMINA DE BIOPLÁSTICO EN EL MEDIO AMBIENTE.
- ANEXO N:** LÁMINA DEL MEDIO DE DEGRADACIÓN TIERRA CON SOBRE SATURACIÓN DE AGUA.
- ANEXO Ñ:** MUESTRA DE SUELO DILUIDA PARA ANÁLISIS DE MICROORGANISMOS AEROBIOS MESÓFILOS.
- ANEXO O:** ANÁLISIS DEL PH DEL SUELO.
- ANEXO P:** MUESTRA DE SUELO POSTERIOR A LA CALCINACIÓN PARA EVALUAR SU CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA.
- ANEXO Q:** MATERIALES (AGAR Y TUBOS ENSAYO PARA LAS DILUCIONES) PREPARADOS PARA LLEVAR AL AUTOCLAVE.
- ANEXO R:** LÁMINA DE BIOPLASTICO DEL MEDIO DE DEGRADACIÓN TIERRA.
- ANEXO S:** PLACA SEMBRADA CON SOBRECRECIMIENTO DE MICROORGANISMOS.
- ANEXO T:** MEDICIÓN DE LA LÁMINA DE BIOPLÁSTICO EN EL MEDIO DE DEGRADACIÓN AGUA.

**ANEXO U:** MEDICIÓN DE LA LÁMINA DE BIOPLÁSTICO EN EL MEDIO DE DEGRADACIÓN AMBIENTE.

**ANEXO V:** ANÁLISIS BACTERIOLÓGICOS DEL ALMIDÓN DE YUCA.

**ANEXO W:** ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DEL MEJOR TRATAMIENTO.

**ANEXO X:** ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DE LA REPETICIÓN DE PRUEBA.

**ANEXO Y:** RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL AGUA EMPLEADA PARA EL MEDIO DE DEGRADACIÓN DE LAS LÁMINAS DE BIOPLÁSTICO.

**ANEXO Z:** RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL CONTENIDO DE AMILOSA DE LA MUESTRA DE ALMIDÓN DE YUCA OBTENIDA.

## RESUMEN

Los microorganismos con un control inadecuado pueden afectar a los seres humanos y pueden influir en el entorno también, distintas investigaciones sugieren que los microorganismos tienen influencia en los bioplásticos afectándolos en su estructura, actualmente es muy importante estudiar estos ya sea de forma directa o indirecta. Este trabajo de titulación tuvo como objetivo el uso de la radiación ultravioleta de onda corta (UV-C) como método de esterilización de bioplásticos. La investigación fue realizada a partir de artículos sobre dosis radiación ultravioleta para la reducción de microorganismos en frutas, y por medio de esta se determinó cual es el tiempo ideal de exposición de las láminas de bioplástico, en cambio, para la cuantificación de microorganismos se empleó la siembra en masa y los resultados obtenidos fueron analizados a través de la herramienta estadística Statgraphics, por medio de esta se identificó el efecto existente en las variables relacionadas (dosis de radiación, medio de degradación y degradabilidad). Por medio de esta investigación y haciendo uso del análisis de varianza se determinó que la radiación ultravioleta permite reducir significativamente los microorganismos, la dosis de esterilización más alta y con mayor eficacia fue de  $24000 \frac{J}{m^2}$ , sin embargo, las láminas de bioplástico no estaban totalmente limpias ya que aún presentaban una cantidad pequeña de microorganismos y respecto a la degradabilidad, estas se encontraron mayormente influenciadas por el medio independientemente de la radiación utilizada. Por esta razón se recomienda hacer uso de una radiación mayor analizando a su vez con un microscopio de barrido las posibles afectaciones a las láminas, ya que durante la aplicación de la radiación más alta se presentó una deformación momentánea.

**Palabras clave:** <RADIACIÓN ULTRAVIOLETA>, <BIOPLÁSTICO>, <ONDA CORTA>, <MICROORGANISMOS>, <DEGRADABILIDAD>, <MEDIO DEGRADACIÓN>, <ESTERILIZACIÓN>.

0870-DBRA-UPT-2023

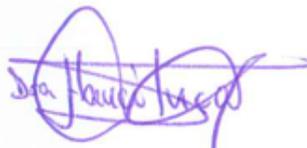


## ABSTRACT

Microorganisms with inadequate control can affect human beings and can influence the environment as well. Different research suggests that microorganisms influence bioplastics by affecting their structure, and it is currently very important to study these either directly or indirectly. The objective of this qualification work was the use of short-wave ultraviolet radiation (UV-C) as a method of sterilization of bioplastics. The research was carried out based on articles on ultraviolet radiation dose for the reduction of microorganisms in fruits, and by means of this it was determined which is the ideal exposure time of the bioplastic sheets, on the other hand, for the quantification of microorganisms mass seeding was used and the results obtained were analyzed through the statistical tool Stat graphics, by means of which the existing effect on the related variables (radiation dose, degradation medium and degradability) was identified. Through this research and using the analysis of variance, it was determined that ultraviolet radiation significantly reduces microorganisms, the highest and most effective sterilization dose was 24000 J/m<sup>2</sup>, however, the bioplastic sheets were not completely clean since they still had a small amount of microorganisms and with respect to degradability, these were mostly influenced by the medium regardless of the radiation used. For this reason, it is recommended to use a higher radiation while analyzing with a scanning microscope the possible affectations to the sheets, since during the application of the highest radiation a momentary deformation occurred.

**Key words:** <ULTRAVIOLET RADIATION>, <BIOPLASTIC>, <SHORT WAVE>, <MICROORGANISMS>, <DEGRADABILITY>, <MEDIUM DEGRADATION>, <STERILIZATION>.

0870-DBRA-UPT-2023



Dra. Nanci Margarita Inca Ch. Mgs.

0602926710

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad los bioplásticos resultan ser una alternativa sostenible y amigable con el ambiente sobre todo en la industria alimenticia, debido a que en esta área es donde se produce mayor contaminación por los residuos que estos generan. La mayoría de los plásticos no son biodegradables, estos se descomponen poco a poco en fragmentos de un tamaño inferior hasta convertirse en microplásticos; cuando el plástico llega a este punto, resulta más complicado quitarlo del ambiente, por lo tanto, el plástico tradicional contamina más si este se fragmenta (Duarte, 2022, p. 4).

En cambio, el bioplástico resulta sostenible debido a que se reducen las emisiones de dióxido de carbono entre 0,8 y 3,2 toneladas al producir bioplástico, además las cantidades de residuos se aminoran entre 25 y 50% debido a la degradación rápida de los bioplásticos. Existen diversas materias primas que poseen alta disponibilidad, bajo costo, carácter renovable, biodegradabilidad y competitividad económica en relación al petróleo, entre ellas se tiene el almidón, los bioplásticos producidos a partir de esta materia prima se caracterizan por su flexibilidad y se utilizan para fabricar bolsas y redes para envasado de frutas y verduras, su alta permeabilidad al vapor de las películas de mezclas de almidón ayuda a mantener las frutas y verduras frescas durante más tiempo y cuando los alimentos han caducado se puede compostar junto con la envoltura sin necesidad de que existan procesos de separación (Gálvez, 2016, p. 13).

Si bien los plásticos derivados de petróleo se van descomponiendo de forma lenta y se producen fragmentos de menor tamaño ocasionando mayor contaminación, estos resultan una opción que no es amigable con medio ambiente, a comparación de los bioplásticos que se descomponen en periodos cortos de tiempo. Por ello se plantea el uso de un diseño de experimentos que permita determinar el modelo estadístico que relacione la irradiancia emitida por una fuente de radiación ultravioleta de onda corta (UV-C) con la degradación del bioplástico, para estudiar su degradabilidad luego de estar en contacto con los rayos UV (Gómez, 2016, p. 63).

# CAPÍTULO I

## 1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. Planteamiento del problema

Los bioplásticos con el pasar de los años ha ido teniendo mucho impacto, debido a que contribuye al desarrollo sostenible, se estima un crecimiento anual entre un 20% y 25%. Si bien estos son una muy buena opción para reducir la contaminación de residuos por su rápida degradación se ha identificado un incremento de los microorganismos que tienen la capacidad de degradar los compuestos que constituyen los bioplásticos, además de favorecer a su deterioro, estos microorganismos hacen uso de esos polímeros de carbono como fuente de energía. Los microorganismos, principalmente bacterias y hongos, generan enzimas extracelulares que facilitan la degradación de distintos bioplásticos y plásticos sintéticos, estos pueden desarrollarse en diferentes condiciones y específicamente bajo condiciones de estrés. Deshacerse de los microorganismos completamente es poco factible, tanto en los alimentos o en cualquier otro producto estos se transmiten de forma rápida ya sea por el aire, suelo, agua, utensilios, el hombre y también pueden ser contaminados durante la producción primaria, transporte, almacenamiento, elaboración y distribución. Por este motivo se plantea la evaluación del uso de la radiación UV de onda corta como método de esterilización de bioplásticos, con el propósito de estudiar su degradabilidad luego de estar en contacto con la luz ultravioleta con diferentes parámetros (Duarte, 2022, p. 19).

### 1.2. Problema general de investigación

¿La radiación UV de onda corta será útil para la esterilización de bioplásticos? ¿El bioplástico va a tener un tiempo de degradación mayor al aplicarle radiación ultravioleta? Si bien estos son una buena opción para reducir la contaminación, su degradación se encuentra afectada por agentes externos como los microorganismos principalmente bacterias y hongos, generan enzimas extracelulares que facilitan la degradación de distintos bioplásticos y plásticos sintéticos, estos pueden desarrollarse bajo situaciones de estrés, por ende librarse de los microorganismos completamente es poco factible, porque tanto en los alimentos o en cualquier otro producto estos se propagan con rapidez por los distintos medios como, aire, suelo, agua, instrumentos, el contacto con el ser humano, inclusive pueden ser contaminados durante la producción, almacenamiento, transporte, entre otros (Pérez, 2020, p. 15).

### 1.3. Problemas específicos de investigación

- ¿Existe investigaciones orientadas a la esterilización de bioplásticos haciendo uso de la radiación ultravioleta de onda corta?
- ¿Cuál es la dosis adecuada para esterilizar las láminas de bioplástico?
- ¿Qué efecto tiene en la degradabilidad la radiación UV de onda corta utilizada en las láminas de bioplástico?

## **1.4. Objetivos**

### ***1.4.1. Objetivo general***

Evaluar el uso de la radiación ultravioleta de onda corta (UV-C) como método de esterilización de bioplásticos.

### ***1.4.2. Objetivos específicos***

- Elaborar un bioplástico a partir de almidón de yuca.
- Diseñar un experimento que permita evaluar la degradabilidad del bioplástico en función de la irradiancia UV-C aplicada, en ambientes controlados.
- Identificar que efecto significativo tiene la radiación UV-C sobre la degradación del bioplástico mediante un análisis ANOVA.

## **1.5. Justificación**

### ***1.5.1. Justificación Teórica***

Hoy en día los bioplásticos resultan ser una alternativa sostenible y amigable con el ambiente sobre todo en la industria alimenticia, debido a que en esta área es donde se produce mayor contaminación por los residuos que estos generan. Los plásticos derivados de petróleo conforme se van descomponiendo producen fragmentos de menor tamaño ocasionando mayor contaminación, debido a que es complicado quitarlos del medio ambiente lo cual su utilización resulta ser una opción poco favorable, a comparación de los bioplásticos que se descomponen en periodos cortos de tiempo. El bioplástico resulta sostenible debido a que disminuye la contaminación proveniente de los gases de dióxido de carbono, además que los porcentajes de residuos se reducen debido a su rápida degradación. Otra ventaja es que existen diversas materias primas las cuales son fáciles de conseguir debido a la gran disponibilidad que poseen, estos tienen costos asequibles, pueden ser renovados, son fáciles de degradar y sus precios lo convierten en

muy competitivos económicamente con relación a los derivados del petróleo, entre ellas se tiene el almidón, los bioplásticos producidos a partir de esta materia prima se caracterizan por su flexibilidad y lo penetrable que son estos al paso del vapor, estas láminas formadas a partir de la combinación del almidón favorece a la conservación de las frutas y verduras, haciendo que estas perduren por un mayor tiempo, y en caso de que los alimentos se encuentren en descomposición pueden ser compostados junto con la envoltura. Por lo tanto, se propone el uso de un diseño de experimentos que permita determinar el modelo estadístico que relacione la radiación ultravioleta con la degradabilidad del bioplástico, para el análisis de cuál es la dosis de radiación más eficaz y que efecto tiene en la degradación (Mera et al., 2020, p. 20).

### ***1.5.2. Justificación metodológica***

Para la investigación es necesario establecer un procedimiento que se siga de forma organizada y sistemática, debido a que no existe una metodología establecida para el proceso de esterilización de bioplásticos, si bien en la universidad no se cuenta con las herramientas necesarias, estas han sido adquiridas en el exterior con fines de investigación. Para los análisis se va a establecer un diseño de experimentos, en el cual se va a considerar la Potencia, Distancia y tiempo, dando como resultado cierto número de tratamientos los cuales van a ser evaluados por el análisis de varianza ANOVA.

### ***1.5.3. Justificación práctica***

Se tiene como propósito evaluar la radiación ultravioleta UV-C como esterilización de bioplásticos, para analizar el efecto que la irradiancia tiene en su degradación, debido a que estos son considerados sostenibles porque reducen la contaminación generada por los gases de dióxido de carbono entre 0,8 y 3,2 toneladas al elaborar bioplástico, también el porcentaje de residuos se disminuye de forma considerable entre 25 y 50% gracias a su rápida degradación, al ser estos amigables con el medio ambiente no es necesario emplear recursos para la separación de este con otras materias orgánicas, estos pueden ser desechados juntos (Gálvez, 2016, p. 13).

## **1.6. Hipótesis**

- ¿La radiación UV de onda corta será útil para la esterilización de bioplásticos?
- ¿El bioplástico va a tener un tiempo de degradación mayor al aplicarle radiación ultravioleta?

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de investigación

El descubrimiento de la luz ultravioleta fue realizado por el físico alemán Johann Wilhelm Ritter en 1801 durante el estudio del oscurecimiento de las sales de plata expuestas a la luz solar. La radiación UV es usualmente estudiado por su acción germicida, el origen del estudio se ha generado en el año 1910 cuando este fue aplicado para el proceso de esterilización de agua para bebidas en Marsella, Francia. Esta tecnología ha sido mayormente estudiada en la desinfección de superficies, hasta que en 1999 fue considerada por la FDA (Food and Drug Administration) como un método alternativo para la inactivación bacterias patógenas, la aplicación de la radiación ultravioleta se conoce como procesado con luz (Millán et al., 2015, p. 455).

A inicios de los años 90 se empezaron a fabricar plásticos con un buen rendimiento, estos fueron comparables a los plásticos convencionales, y susceptibles a la acción de los microorganismos. A esta clase de materiales se los identifica como plásticos biodegradables, es importante tener en cuenta que los plásticos biodegradables pueden ser obtenidos a partir del petróleo, en cambio, los bioplásticos son los obtenidos de recursos naturales. Esos bioplásticos han ido teniendo mayor aceptación con el pasar de los años debido a la necesidad de ir aplicando nuevas tecnologías amigables con el medio ambiente, en su gran mayoría su uso ha estado orientado a la sustitución de los plásticos de un solo uso por la elevada contaminación que estos generan (Huancahuire, 2016, p. 9).

Hoy en día la utilización del almidón como materia prima para producir láminas de bioplásticos es muy valorado debido a sus numerosas aplicaciones y su sostenibilidad. Sin embargo, la versatilidad de los bioplásticos basados en almidón es limitada por sus propiedades negativas, como la fragilidad, la viscosidad, la retrogradación y la insolubilidad en agua fría. Para solucionar estos problemas, se ha introducido la radiación ionizante, que tiene la capacidad de mejorar las características mecánicas y de barrera de los bioplásticos basados en almidón con la cantidad adecuada de energía y fuente. En este estudio, se comparan las fuentes que emiten una longitud de onda ionizante, incluyendo ultravioleta (UV), el rayo de luz de los electrones y rayos gamma. Cada fuente produce resultados distintos, y los rayos gamma son los más prometedores, pero una dosis superior a 40kGy puede dañar la estructura y las propiedades del bioplástico basado en almidón. En resumen, la radiación ionizante puede mejorar las propiedades de los bioplásticos basados en almidón sin afectar negativamente sus propiedades si se utiliza una dosis de energía adecuada (Nasir & Othman, 2019, p. 1).

## **2.2. Referencias teóricas**

### **2.2.1. *Materia prima***

#### **2.2.1.1. *Yuca***

La yuca (*Manihot esculenta Crantz*) es un tubérculo rico en carbohidratos, el cual contiene grasas y proteínas en pequeñas cantidades, su nombre científico fue establecido por Crantz en 1766. Esta materia prima pertenece a la familia Euphorbiaceae. La yuca es una de las fuentes más ricas de almidón del cual sus raíces contienen más de 30 por ciento, estas son fibrosas, y se agrandan debido a la acumulación de almidón, denominadas así tuberosas (Salcedo et al., 2017, p. 6).

Si bien la yuca tiene gran cantidad de almidón su gran utilización se debe a que esta puede desarrollarse en diversas condiciones tropicales subtrópicos lluvias e inviernos fríos; trópicos húmedos y cálidos de zonas con poco relieve y los trópicos de altura media. El punto favorable de la yuca es capaz de crecer en suelos no tan fértiles, en suelos con un pH de menos de 7 (ácido) e incluso en periodos de sequías (Pastrana et al., 2014, p. 49).

La utilización del almidón de forma global está destinada a distintas industrias: cartón, colas, papel, fármacos, edulcorantes, maderas compuestas, resinas, alcohol, textiles, entre otros. Mundialmente el uso del almidón está orientado para la industria del papel, farmacéutica, en la producción de sustancias química, entre otros. También es importante mencionar su uso en la industria alimenticia: harina, almidón, trozos deshidratados, copos, mezclas para tortas, tallarines, panadería, helados entre otras cosas (Vergara et al., 2018, p. 17).

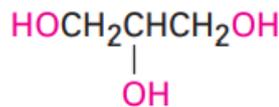
## 2.2.2. Aditivos plastificantes

### 2.2.2.1. Almidón

Es un biopolímero natural blancuzco que es insípido e inodoro, este es una sustancia de reserva de alimento primordial en las plantas, es el polisacárido de mayor relevancia y abundante después de la celulosa. El almidón está compuesto por dos homopolímeros (aquel polímero constituido por un único monómero), de  $\alpha$ -glucosa, estos monómeros de elevado peso molecular y cuya morfología es distinta debido a que la amilopectina tiene ramificaciones que constituyen una formación estructural parecida a un árbol, en cambio, la amilosa posee una distribución lineal en su estructura, usualmente los almidones están constituidos con una relación comprendida entre 20 - 80 % de amilosa y amilopectina. La estructura natural del almidón es probable que sea afectada por las condiciones del proceso (estas pueden ser: temperatura, presión y pH.). La amilopectina y amilosa establecen las propiedades que poseen los almidones (Holguin, 2019, p. 24).

### 2.2.2.2. Glicerina

La glicerina, glicerol o propanotriol, cuya formula molecular es  $C_3H_8O_3$ , es un alcohol constituido por tres grupos hidroxilos (R-OH) en cada carbono, los cuales hacen posible que en agua sea soluble. Es una sustancia aislada a partir de la grasa, este es un líquido viscoso, higroscópico e incoloro (Picó, 2016, p. 44).



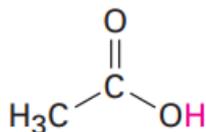
**Glicerol**  
**(1,2,3-propanotriol)**

**Ilustración 1-2:** Estructura del *glicerol*.

**Fuente:** McMurry, 2008, p. 601.

### 2.2.2.3. Ácido acético

Es un compuesto orgánico líquido incoloro con un olor acre (picante, penetrante, áspero, entre otros.), es corrosivo y puede ocasionar quemaduras, su fórmula química es  $CH_3COOH$ . Esta sustancia es ampliamente empleada en distintas industrias ya sea química, farmacológica, textil y alimenticia (Troya, 2019, p. 6).



## Ácido acético

**Ilustración 2-2:** Estructura del *ácido acético*.

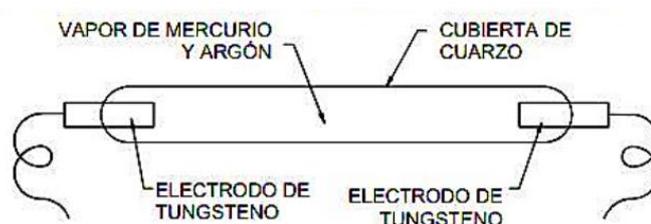
Fuente: McMurry, 2008, p. 56.

### 2.2.3. Instrumentos de radiación ultravioleta

#### 2.2.3.1. Lámpara ultravioleta

Una lámpara ultravioleta está constituida por un tubo de cristal de cuarzo que en su interior alberga sustancias gaseosas, su longitud de onda está comprendido entre 100 – 380 nm. La generación artificial de radiaciones UV-C se logra mediante la utilización de una lámpara de cuarzo que contiene mercurio (Peñaloza, 2018, p. 15).

Aunque las lámparas ultravioletas tienen un gran efecto sobre los microorganismos, están compuestas de mercurio, lo que significa que existe un riesgo de contaminación ambiental. Esta sustancia no puede ser eliminada por completo del ecosistema, pero es factible reducir su impacto con un manejo adecuado de este elemento en el medio ambiente, evitando así que ingrese a las fuentes de agua en su forma más tóxica. El mercurio cambia su estado con el tiempo, pero no tiene la capacidad de descomponerse o separarse en sustancias inofensivas. Si el mercurio es utilizado en el medio ambiente por la actividad humana, puede desaparecer de la vida humana en un período de tiempo comparable (Miranda et al., 2014, p. 38).



**Ilustración 3-2:** Partes de una lámpara ultravioleta.

Fuente: Peñaloza, 2018, p. 16.

¿Se podría emplear las lámparas de tungsteno para esterilización de microorganismos? Las lámparas de Tungsteno no podrían ser usadas con ese fin debido a que su luminiscencia está

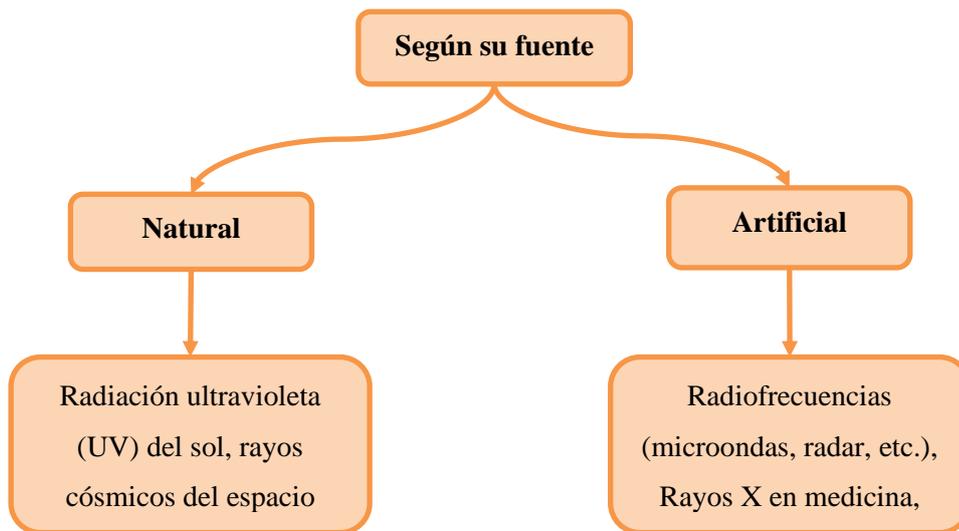
englobada en el rango de luz visible en la cual su espectro electromagnético está comprendido entre 390 nm y 700 nm, en cambio, la longitud de onda que tiene la capacidad germicida es de 254 nm (Silvestre, 2012, p. 4).

#### 2.2.4. Radiación

La radiación es cualquier emisión o propagación de energía a través de un espacio o ambiente material que constituye una forma de transferencia de energía (ionización) de una fuente a otra, la cual puede ocurrir en forma de partículas u ondas electromagnéticas. La radiación se puede clasificar según tres criterios: fuente, naturaleza y efecto biológico (Lima, 2018, p. 1).

##### 2.2.4.1. Clasificación de la según criterios de categorización

- Fuente



**Ilustración 4-2:** Clasificación de la radiación según su fuente.

**Fuente:** Hoyos & Flores, 2013, p. 1798.

- Naturaleza

En la tabla 1-2 se puede observar las distintas fuentes que se encuentran comprendidas en la clasificación de la radiación según su naturaleza:

**Tabla 1-2:** Clasificación de la radiación según su naturaleza.

Según su naturaleza		
Tipo de radiación		
Corpusculares	Electromagnética	
	Ópticas	Ionizante
Radiaciones alfa		
Radiaciones beta	Radiofrecuencias (radares, microondas, etc.).	Rayos gamma
Radiaciones neutrónicas	Radiación infrarroja	
Radiaciones cósmicas	Radiación visible (violeta, azul, verde, amarilla, naranja, roja).	Rayos X
	Radiaciones ultravioletas (UV-C, UV-B, UV-A).	

Fuente: Hoyos & Flores, 2013, p. 1799.

Realizado por: Ordoñez, Geovanny, 2023.

- Efecto biológico



**Ilustración 5-2:** Clasificación de la radiación según su efecto biológico.

Fuente: Hoyos & Flores, 2013, p. 1799.

#### 2.2.4.2. Tipos de radiación

- Radiación ionizante

Se refiere a aquella radiación que posee una frecuencia muy elevada que tiene la capacidad de generar iones al quitar o agregar electrones a los átomos irradiados en dos formas: partículas que se encuentran energizadas (protones, positrones, muones, mesones cargados, átomos ionizados y partículas alfa) y radiación ionizante indirecta aquella originada por partículas sin carga como rayos gamma, rayos X y todos los neutrones. Por otra parte, se separan en dos categorías: radiación de partículas y radiación electromagnética (Hoyos & Flores, 2013, p. 1799).

En la tabla 2-2 se presenta irradiaciones que conforman las radiaciones ionizantes:

**Tabla 2-2:** Tipos de radiaciones ionizantes.

<b>Radiaciones Ionizantes</b>	
<b>Electromagnéticas</b>	<b>Corpusculares</b>
Rayos gamma	Radiaciones alfa
	Radiaciones beta
Rayos gamma	Neutrones
	Rayos cósmicos

**Fuente:** Hoyos & Flores, 2013, p. 1799.

**Realizado por:** Ordoñez, Geovanny, 2023.

- Radiación no ionizante

Estas ondas electromagnéticas son emitidas por dispositivos elaborados por el ser humano, y no tienen la capacidad de cargar las moléculas o átomos que contiene la materia, por lo tanto, estas no tienen la capacidad de ionizar debido a su nivel de energía insuficiente, debido a esto su espectro electromagnético no tiene la capacidad de romper enlaces atómicos (Frizzera, 2007, p. 8).

En la tabla 3-2 se presentan ejemplos de irradiaciones que conforman las radiaciones no ionizantes:

**Tabla 3-2:** Ejemplos de radiaciones no ionizantes.

<b>Radiaciones No Ionizantes</b>
Luz visible
Radiación ultravioleta

Campos de radiofrecuencias
Microondas
Radiación infrarroja

**Fuente:** Frizzera, 2007, p. 9.

**Elaborado por:** Ordoñez, Geovanny, 2023.

### 2.2.5. Radiación ultravioleta

La radiación ultravioleta (UV) es una tecnología que se encuentra en constante estudio, debido a que esta es de mucha utilidad para el efecto germicida. La luz ultravioleta es una fracción electromagnética que está comprendida por el rango comprendido por los rayos x y el espectro visible, la radiación ultravioleta está conformada por tres componentes: UVA, UVB y UVC, estos están organizados según su longitud de onda de 100nm a 400nm y se clasifican según el alcance del espectro electromagnético (Guavita, 2015, p. 37).

En la tabla 4-2 se puede apreciar los rangos de longitud de onda de la clasificación de la radiación ultravioleta:

**Tabla 4-2:** Clasificación de la luz ultravioleta.

<b>Radiación Ultravioleta</b>	
<b>Tipo de radiación</b>	<b>Longitud de onda</b>
Ultravioleta A (UVA)	315 - 400 nm
Ultravioleta B (UVB)	280 – 315 nm
Ultravioleta C (UVC)	100 – 280 nm

**Fuente:** Instituto Regional de Seguridad y Salud en el Trabajo, 2013, p. 10.

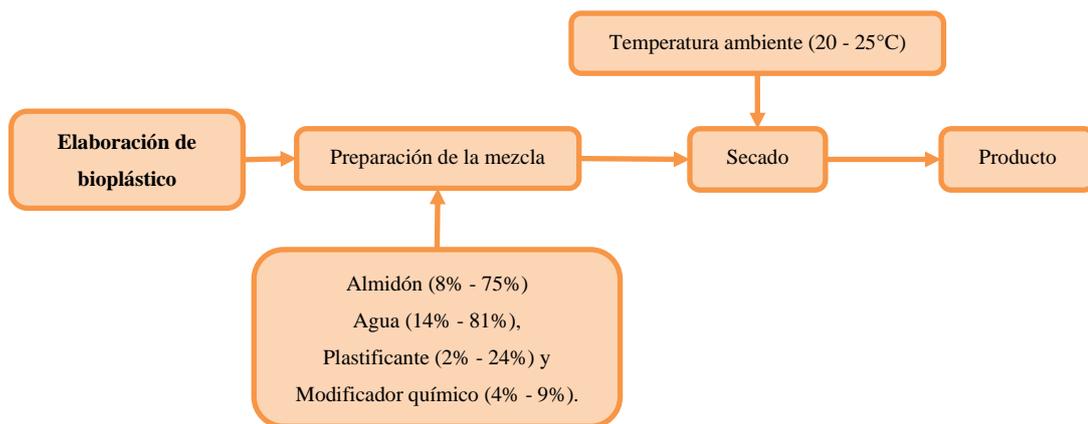
**Elaborado por:** Ordoñez, Geovanny, 2023.

### 2.2.6. Bioplástico

Los bioplásticos son plásticos elaborados a partir de recursos naturales como la celulosa o el almidón (papa, yuca, maíz, caña de azúcar, etc.). El objetivo de la producción de bioplásticos es reducir la contaminación provocada por los plásticos convencionales, teniendo en cuenta las especificidades de estas estructuras químicas, que contribuyen a la degradación del material como consecuencia de la acción de los microorganismos (García, 2015, p. 11).

### 2.2.6.1. Composición del bioplástico

El proceso tradicional de la elaboración de bioplástico consiste en una mezcla (almidón, agua, plastificante y modificador químico.) la cual es homogenizada y posteriormente colocada en un molde para que esta repose hasta que se vuelva un objeto rígido (lamina), este proceso se resume en dos pasos: Inicialmente, el almidón se somete a una hidratación, posterior a ello, se adiciona el plastificante (glicerol, agua, alcohol polivinílico), finalmente se añade el modificador químico (opcional) este grado de acidez otorga un cambio a las propiedades mecánicas y físicas del producto final (lamina de bioplástico); estos modificadores químicos no alteran la estructura del almidón, estos facilitan la interacción molecular con los plastificantes mejorando las características del producto final. La homogenización de la muestra se hace por medio de agitación manual y posteriormente se expone a temperatura, que no exceda los 70°C, para la gelatinización del almidón, durante todo este proceso no se detiene la agitación (Holguin, 2019, p. 38).



**Ilustración 6-2:** Diagrama de la elaboración de bioplástico.

**Fuente:** Holguin, 2019, p. 40.

### 2.2.7. Contaminación por plásticos tradicionales

La mayoría de los plásticos no son biodegradables, estos se descomponen lentamente en fragmentos de menor tamaño hasta convertirse en los denominados microplásticos; cuando el plástico alcanza esta etapa, se vuelve aún más difícil retirarlo del ambiente, contaminando así tanto el suelo como el agua lo que es primordial para las actividades de los seres vivos. Esto

resulta una opción que no es amigable con medio ambiente, a comparación de los bioplásticos que se descomponen en periodos cortos de tiempo (Duarte, 2022, p. 4).

#### **2.2.8. Biodegradación**

Se refiere a la capacidad metabólica que consiste en la transformación de los contaminantes peligrosos en sustancias más amigables con el ambiente. Los bioplásticos se pueden degradar por efecto biológico, químico, foto degradación, o una combinación de estas. La degradación final de todos los materiales plásticos degradables sea que inicialmente se degraden química por luz, será la acción de microorganismos. Los microorganismos, principalmente bacterias y hongos, generan enzimas extracelulares que facilitan la degradación de distintos bioplásticos y plásticos sintéticos, estos pueden desarrollarse en diferentes condiciones y específicamente bajo condiciones de estrés. Deshacerse de los microorganismos completamente es poco factible, tanto en los alimentos o en cualquier otro producto estos se transmiten de forma rápida ya sea por el aire, suelo, agua, utensilios, el hombre y también pueden ser contaminados durante la producción primaria, transporte, almacenamiento, elaboración y distribución (Soriano, 2020, p. 9).

#### **2.2.9. Diseño de experimentos**

Es un aplicativo utilizado en la estadística que puede cuantificar y determinar la causa de las consecuencias en análisis experimentales. En el diseño experimental las variables origen se modifican intencionalmente para cuantificar que efecto tiene respecto a la variable de relevancia. El diseño de experimentos define un grupo de principios mediante los cuales se manipularán las variables, el número de ocasiones que se repetirá la investigación y el cómo se va a establecer la causalidad esperada con un determinado nivel de confianza (Ortega et al., 2021, p. 6).

#### **2.2.10. Análisis de varianza**

Es herramienta estadística básica que permite estudiar los posibles efectos de uno o más factores (con dos o más niveles) sobre el promedio de una variable que no varía. El funcionamiento del análisis ANOVA simple se centra en comparar las medias de la variable dependiente ( $Y$ ), con las asociadas a los diferentes niveles de la variable autónoma ( $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ ), se relaciona la cuantificación de la variación comprendida por los distintos niveles con un dato medido del cambio producido dentro de cada nivel. En caso de que el primer factor sea considerablemente superior que el segundo, se determina que las cuantificaciones respecto a distintos niveles de aquel dato son distintos, lo cual establece que el dato influye en gran medida respecto al término dependiente, en cambio, si el segundo factor no es superior que el primer factor, no se va a

rechazar la hipótesis nula ya que existe coincidencia en todos los promedios relacionados a distintos niveles del factor (Terrádez & Ángel, 2003, p. 2).

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Enfoque de investigación

##### 3.1.1. Método cuantitativo

Por medio del método cuantitativo se busca identificar cual es la irradiancia ultravioleta necesaria para la esterilización de los bioplásticos, analizando su degradación al estar expuesto a distintas cantidades de irradiancia. La radiación requerida va a ser determinada por distintos experimentos en los que se tiene en consideración distintos parámetros como, el tiempo y la irradiación.

##### 3.1.2. Método deductivo

Se busca analizar por medio de repeticiones experimentales la cantidad la cantidad de radiación ultravioleta requerida. Para ello se establece un diseño  $3^2$ , 2 factores (dosis y medio de degradación) con tres niveles cada uno, 3 dosis de radiación (6000, 12000 y 24000 J/m<sup>2</sup>) y 3 correspondientes a los medios de degradación (ambiente, tierra y agua), cuyos resultados van a ser estudiados por medio del análisis ANOVA.

##### 3.1.3. Método inductivo

A partir de los resultados obtenidos por la experimentación y el análisis ANOVA se va a establecer recomendaciones y conclusiones que faciliten próximos estudios relacionados con la degradabilidad de los bioplásticos al aplicar la radiación ultravioleta de onda corta (UV-C) como método de esterilización en bioplásticos.

#### 3.2. Nivel de investigación

Este trabajo de indagación es de tipo experimental, ya que busca a través de varias pruebas analizar que dosis de radiación es efectiva para la esterilización de bioplásticos y que efecto tiene en la degradabilidad de las láminas al ser expuesto a la radiación de onda corta (UV-C), de modo que se pueda potenciar la durabilidad del bioplástico, para que se permita incrementar la aceptación de estos como un sustituto del plástico tradicional.

### **3.3. Diseño de investigación**

#### ***3.3.1. Según la manipulación o no de la variable independiente***

Esta investigación es de tipo exploratorio porque se tiene como propósito la manipulación de variables de modo que se determine la cantidad ideal de irradiancia ultravioleta de onda corta.

#### ***3.3.2. Según las intervenciones en el trabajo de campo***

Es un tipo de estudio transversal debido a que se va a analizar datos de diferentes variables como la dosis, contaminación y la degradabilidad, con el propósito de encontrar la cantidad de radiación onda corta ideal para la esterilización de bioplásticos.

### **3.4. Tipo de estudio**

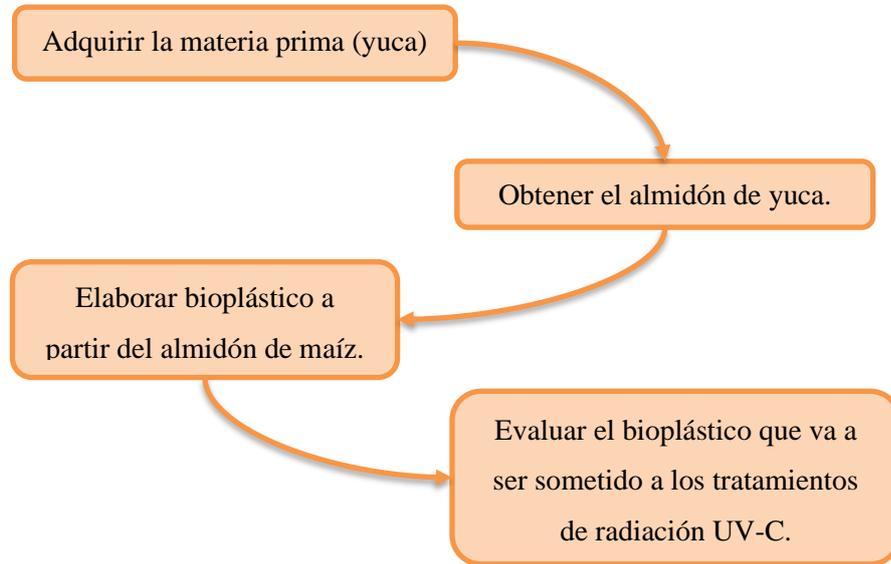
Este trabajo de investigación es mayormente práctico, debido a que se va a exponer distintas muestras a ciertas dosis de radiación ultravioleta para cumplir el propósito de estudio, por ende, este tipo de estudio es de campo.

### **3.5. Población y planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra**

#### ***3.5.1. Población y planificación***

La materia prima para la elaboración del bioplástico de yuca es proveniente de la provincia de Orellana, la misma es cosechada y comercializada por las comunidades que conforman la parroquia Nuevo Paraíso, y esta forma parte del cantón Francisco de Orellana.

### 3.5.2. Selección de la muestra



**Ilustración 1-3:** Diagrama de selección de muestras.

Realizado por: Ordoñez, Geovanny, 2023.

### 3.5.3. Tamaño de la muestra

Se va a tomar un valor experimental de 13.000 gramos de pulpa de yuca, y se espera obtener un valor aproximado de 2.000 g de almidón de yuca, para luego desarrollar el bioplástico a partir de esta materia prima. Para posteriormente evaluar cual es la dosis ideal para la esterilización de microorganismos (mohos y levaduras) y analizar qué efectos tiene en la degradabilidad de la irradiancia UV-C.

### 3.6. Métodos, técnicas e instrumentos de investigación

#### 3.6.1. Proceso metodológico para la obtención del almidón de yuca



**Ilustración 2-3:** Diagrama de flujo del proceso de obtención del almidón de yuca.

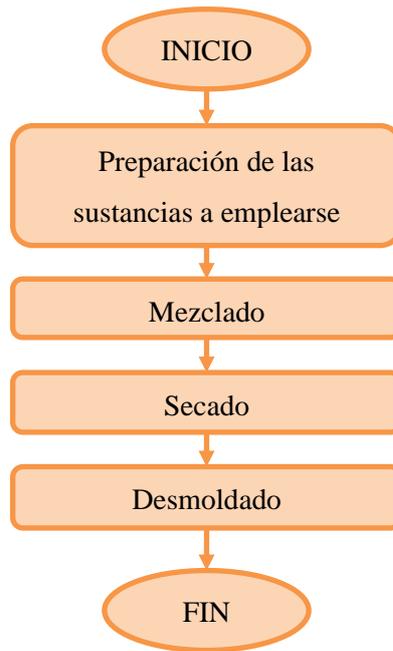
**Realizado por:** Ordoñez, Geovanny, 2023.

Descripción del proceso:

- **Recepción de la materia prima:** La materia prima utilizada es la yuca, y esta es proveniente de la provincia de Orellana, Cantón Francisco de Orellana, Parroquia Nuevo Paraíso, ubicada en el oriente del país.
- **Limpieza:** En este punto se retiró la corteza de la yuca, y la misma fue lavada con abundante agua, con el objetivo de eliminar las impurezas.
- **Selección de muestra:** Si bien la yuca fue cosechada hace pocas horas, algunas no se encontraban en perfectas condiciones por lo que aquellas fueron descartadas, y solamente las yucas que tenían la pulpa intacta fueron tomadas en cuenta.
- **Trituración:** Esta operación se desarrolló en una licuadora clásica Oster (3 velocidades) con una cuchilla metálica de 6 aspas, y se realizó con la primera velocidad. Para licuar se colocó la cantidad de 250g en 500ml de agua (agua de botellón para evitar contaminación).
- **Filtrado:** Por practicidad para el filtrado se empleó medias nailon para poder extraer solamente el contenido de interés agua-almidón, evitando así el paso del bagazo.
- **Decantado:** Una vez obtenido el líquido filtrado se debe dejar reposar en un recipiente, de preferencia uno transparente para poder apreciar la sedimentación, el tiempo adecuado para separar el agua del almidón es de alrededor de 24 horas.
- **Secado:** Una vez sedimentado el almidón, este es trasvasado a unos recipientes de aluminio para ser llevados a en una estufa de recirculación a 60°C, en la cual va a reposar durante 24 horas.
- **Molienda:** Para esta parte se utilizó un mortero y un pistilo con el propósito de reducir el tamaño del almidón secado.
- **Tamizado:** Luego de moler el almidón el mismo fue tamizado en una malla de 63 micrómetros, la cual permitió tener un tamaño adecuado de las partículas.
- **Almacenamiento:** Finalmente el almidón tamizado es almacenado en fundas ziploc para evitar tanto la contaminación de la muestra como también que esta absorba humedad.

### ***3.6.2. Proceso metodológico para la elaboración de bioplástico a partir del almidón de yuca***

Para la elaboración del bioplástico se plantea la utilización de los siguientes reactivos: Almidón, Glicerina, Agua destilada y Ácido acético.



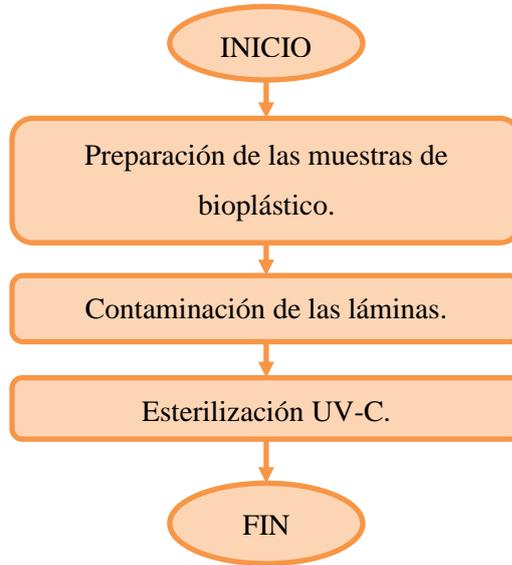
**Ilustración 3-3:** Procedimiento para la elaboración del bioplástico.

**Realizado por:** Ordoñez, Geovanny, 2023.

Descripción del proceso:

- **Preparación de las sustancias a emplearse:** En este punto se pesa y se extrae la cantidad de sustancia necesaria para la elaboración del bioplástico según la siguiente relación: por cada 3g de almidón de yuca, se usó 1.5ml de glicerina, 35ml de agua destilada, y 5ml de ácido acético.
- **Mezclado:** Una vez listas las sustancias, estas son mezcladas en un vaso de precipitación de 100ml para su homogenización, y para ello es necesario exponer a temperatura cuidando que esta no supere los 70°C, cuando esta se encuentre lista para ser trasvasada a un molde se notará un cambio en la densidad de la sustancia, y se debe hacer de forma inmediata para que se distribuya de forma adecuada en el recipiente.
- **Secado:** Después de homogenizar la sustancia se trasvasó a un molde para dejarlo reposar a temperatura ambiente, en este caso una temperatura de 19°C y se deja reposar por 24 horas. El molde es de tamaño A3 la cual tiene unas medidas de 29,7 x 42 cm.
- **Desmoldado:** Si bien el tiempo de 24 horas es adecuado para poder retirar la lámina, se puede dejar 12-24 horas más y se va a despegar con mayor facilidad la lámina de bioplástico del molde.

### 3.6.3. Procedimiento para la esterilización de las láminas de bioplástico de almidón yuca



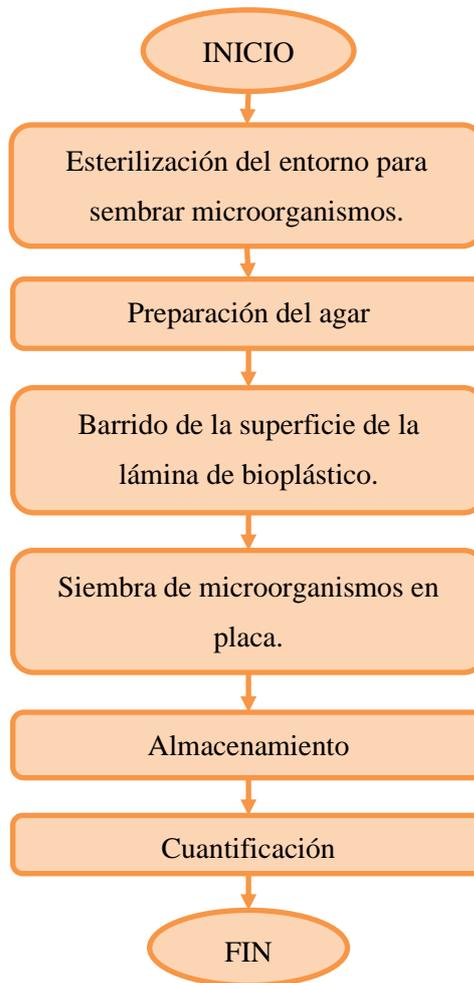
**Ilustración 4-3:** Procedimiento para la esterilización de las láminas de bioplástico de yuca.

**Realizado por:** Ordoñez, Geovanny, 2023.

Descripción del proceso:

- **Preparación de las muestras de bioplástico:** A partir de las láminas de bioplástico obtenido, estas se dividen en 12 muestras de 5x5cm.
- **Contaminación de las láminas:** Después de preparar las 12 muestras estas se colocan en una superficie, y luego se rocía un líquido contaminado resultado del lavado de una fruta contaminada con mohos y levaduras. Posterior a esto se deja reposar durante 24 horas.
- **Esterilización UV-C:** Las muestras son sometidas a una dosis de 6000, 12000 y  $24000 \frac{J}{m^2}$ . Cada dosis está relacionada con 3 láminas de bioplástico, y las tres laminas sobrantes corresponden a las muestras de control, las cuales no van a ser expuestas a la radiación UV-C. Estas se dejan reposar en un entorno adecuado para su cuantificación, su tiempo de reposo es de alrededor de 12 horas.

### 3.6.4. Procedimiento para la cuantificación de microorganismos



**Ilustración 5-3:** Procedimiento para cuantificación de microorganismos.

**Realizado por:** Ordoñez, Geovanny, 2023.

Descripción del proceso:

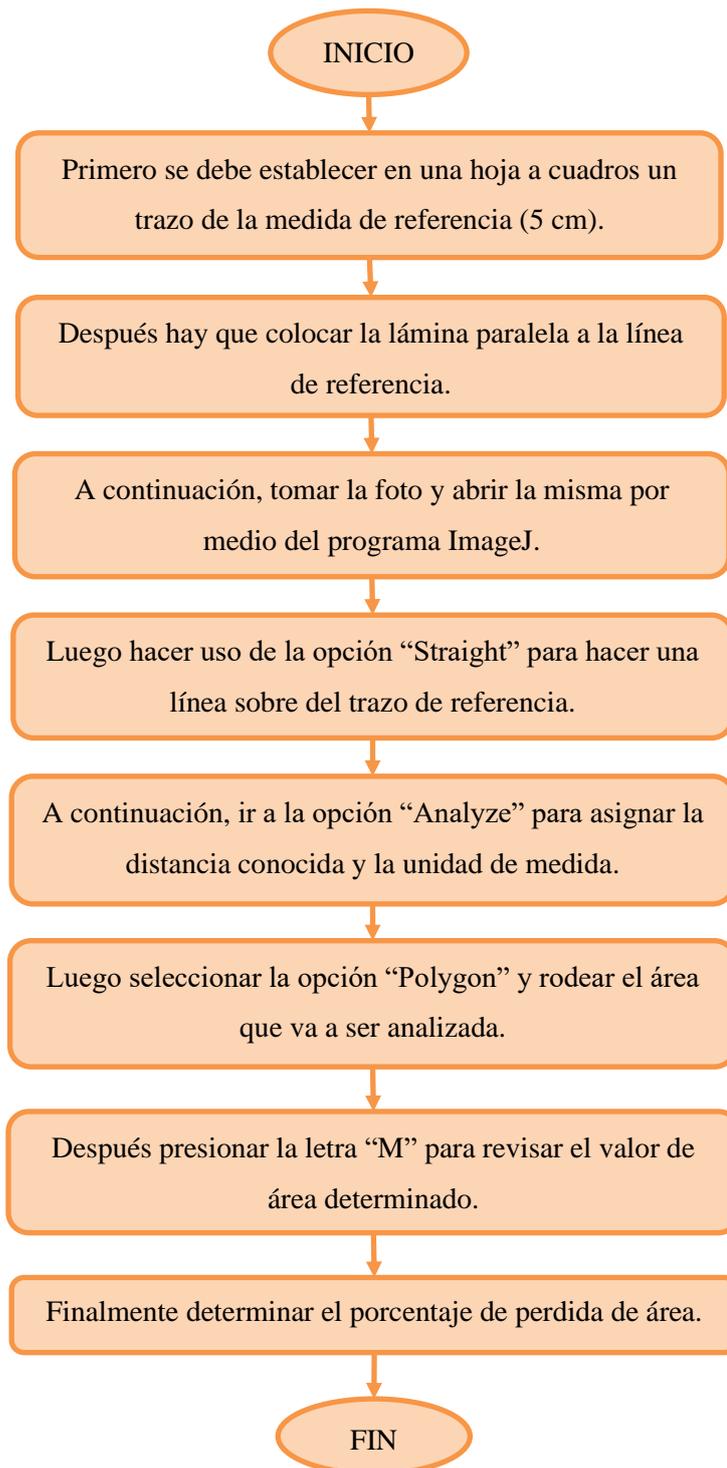
- **Esterilización del entorno para sembrar microorganismos:** Inicialmente se preparó el entorno en el cual se va a sembrar, en este caso se emplea una campana de extracción, la cual es limpiada con alcohol y posteriormente esterilizada con radiación UV-C.
- **Preparación del Agar:** El agua se preparó con agua destilada teniendo en cuenta la relación que establece el SABORAUD DEXTROSE AGAR es: 65g por cada 1000ml de agua destilada. Este Agar es el adecuado para sembrar mohos y levaduras.
- **Barrido de la superficie de la lámina de bioplástico:** En esta parte se remojó el isopo con soporte de madera con agua destilada para posteriormente realizar un barrido de la superficie

de la lámina de bioplástico contaminada, y luego se coloca en un tubo de ensayo, se hace un lavado del isopo y posteriormente se extrae 1ml y se coloca en una placa esterilizada.

- **Siembra de microorganismos en placa:** Posteriormente se coloca Agar hasta que cubra la superficie de la placa, la cual contiene 1 ml de sustancia contaminada, luego se tapan y se mueven de forma circular para que se homogenice la sustancia con el agar, después de esto se deja reposar 30min hasta que se gelatinice el agar.
- **Incubación:** Una vez sembrado en placa, estas son selladas con una cinta y se colocan en un recipiente esterilizado bocabajo para evitar que les caiga el agua que se condensó en la parte superior de la placa, estos deben estar cubiertos de modo que estén en un medio adecuado para su desarrollo.
- **Cuantificación:** Luego de transcurrir 4 días, en el día 5 se realiza el conteo de microorganismos, si la dilución sembrada a la menos 1 a su resultado se le debe adicionar un cero, y así sucesivamente si la dilución es mayor. El resultado obtenido va a ser en Unidades Formadoras de Colonias por centímetros cuadrados  $\left(\frac{UFC}{cm^2}\right)$ .

### ***3.6.5. Procedimiento para la evaluación de la degradabilidad de las láminas.***

Para llevar a cabo este punto se va a emplear el aplicativo ImageJ, el cual permite analizar el área de una imagen y de ese modo se puede establecer la degradabilidad por perdida de área.



**Ilustración 6-3:** Diagrama de flujo para la determinación de degradación por pérdida de área.

**Fuente:** Reinking, 2007, p. 1.

**Realizado por:** Ordoñez, Geovanny, 2023.

### 3.6.6. Técnicas

#### 3.6.6.1. Diseño factorial

Se plantea un diseño factorial  $3^2$  para identificar cual efecto de la dosis en la degradación de las láminas de bioplásticos. Para ello se plantea dos factores (Dosis y Medios de degradación) con tres niveles cada uno, la dosis con tres niveles de radiación y los medios de degradación con tres niveles de análisis (Ambiente, Agua y Tierra).

En la tabla |1-3 se presenta un diseño factorial  $3^2$  en el que se relaciona la dosis investigada en bibliografía y los posibles medios de degradación que tienen los residuos:

**Tabla 1-3:** Diseño factorial  $3^2$ .

Tratamientos	Dosis	Medio de Degradación	Porcentaje de Degradación (%)
1	Baja	Estándar	R1
2	Baja	Agua	R2
3	Baja	Tierra	R3
4	Media	Estándar	R4
5	Media	Agua	R5
6	Media	Tierra	R6
7	Alta	Estándar	R7
8	Alta	Agua	R8
9	Alta	Tierra	R9

Fuente: Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2008, p. 128.

Realizado por: Ordoñez, Geovanny, 2023.

#### 3.6.6.2. Medición de la dosis de radiación

La dosis de radiación se encuentra medida de la siguiente manera:

$$d = I * t$$

Donde:

d → dosis de radiación ( $J/m^2$ )

I → intensidad de radiación ( $W/m^2$ )

t → tiempo de exposición (s)

Por medio de esta ecuación se puede determinar el tiempo de exposición a la radiación ultravioleta de onda corta a partir de dosis revisadas en bibliografías (Andrade, 2019, p. 13).

### 3.6.6.3. *Medición de la biodegradación*

Para este análisis se hace uso de la fórmula de disminución porcentual para identificar cuanto de pérdida de área existe, lo cual va a representar a la degradación de la lámina.

$$\%Biodegradación = \frac{\text{área inicial} - \text{área final}}{\text{área inicial}} \times 100\%$$

El método elegido para medir la degradación ha sido la pérdida de área debido a los valores no tan confiables que se obtiene por medio de la pérdida de peso. Esto va a ser evaluado por medio del aplicativo ImageJ, el cual permite establecer trazos que facilitan la determinación del área a partir de una foto. El software ImageJ es una herramienta informática empleada en el procesado de imagen dirigido al entorno de la medicina, este instrumento es utilizado para el análisis científico de imágenes. Es un programa basado en código abierto, es diseñado en el lenguaje de programación Java por los Institutos Nacionales de Salud de Estados Unidos. Esta herramienta por usualmente incluye potentes elementos para procesar y estudiar imágenes de diversos formatos y tipos (Sánchez, 2014, p. 2).

### 3.6.7. *Instrumentos de investigación*

#### 3.6.7.1. *Equipo de esterilización UV-C*

Descripción: Este equipo está conformado por 2 lámparas UV-C de 12 W, y se encuentra programado de modo que facilite la programación del tiempo y la potencia con la que el equipo va a trabajar, esto va a estar en 2 niveles: el 100% equivale a 2 lámparas de luz ultravioleta, en cambio, en el 50% va a funcionar solamente 1 lámpara. La programación del tiempo es en segundos, de modo que los tiempos de radiación debemos manejarlos en segundos.

#### 3.6.7.2. *Medidor de luz ultravioleta (LS126C)*

Descripción: Este medidor de luz ultravioleta está diseñado para medir la intensidad de luz UV de onda corta. La radiación UV-C tiene una longitud de onda de 253,7nm ampliamente utilizado por su efecto germicida, la respuesta espectral del equipo LS126C está comprendida entre 230nm-280nm,  $\lambda_p = 254nm$ .

## CAPÍTULO IV

### 4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. Láminas de bioplástico

En la tabla 1-4 se presenta la formulación para elaborar las láminas de bioplástico a partir del almidón de yuca:

**Tabla 1-4:** Formulación del blanco.

Almidón (g)	Agua Destilada (mL)	Glicerina (mL)	Ácido acético (mL)	Temperatura de secado (°C)	Tiempo (h)
3	35	1,5	5	19	24

Fuente: Niveló, 2021, p. 33.

Realizado por: Ordoñez, Geovanny, 2023.

En la tabla 2-4 se puede observar la evaluación preliminar de la lámina de bioplástico:

**Tabla 2-4:** Evaluación preliminar del blanco

Tratamiento	Espesor (mm)	Forma película	Transparencia
Blanco	0,3	Si	Ligeramente opaco

Realizado por: Ordoñez, Geovanny, 2023.

#### 4.1.1. Pruebas mecánicas del blanco

En la tabla 3-4 se puede apreciar los resultados de las pruebas mecánicas realizadas en la Máquina Universal:

**Tabla 3-4:** Resultados de las pruebas mecánicas.

Tratamiento	Módulo Elástico (MPa)	Máxima Carga (N)	Máximo Desplazamiento (mm)	Máximo Esfuerzo (MPa)	Máxima Deformación (%)	Rotura Carga (N)
Blanco	10,20	1,5675	2,3020	0,3167	6,12	0,675

Realizado por: Ordoñez, Geovanny, 2023.

#### 4.2. Determinación del tiempo de radiación ultravioleta de onda corta

Para la medición de la radiación UV-C se hizo uso de lo establecido en el apartado de cualificaciones y normas de las instrucciones del equipo medidor de radiación UV-C, la norma de China "WST 367-2012 Regulation of Disinfection Technique in Healthcare Settings" establece una medición de 5 min hasta que la medición de la irradiancia se establezca, sin embargo, el valor era cambiante, por lo que se optó por tomar el valor más alto de radiación.

En la tabla 4-4 se puede observar los valores de irradiancia medidos en un rango de 7-8 minutos:

**Tabla 4-4:** Datos de radiación medidos.

TIEMPO MEDIDO (s)	INTENSIDAD DE RADIACIÓN MÁXIMA $\left(\frac{\mu W}{cm^2}\right)$
443	7772,2
451	7300,2
496	6969,6

Realizado por: Ordoñez, Geovanny, 2023.

Valor más alto de intensidad de radiación:

$$7772,2 \frac{\mu W}{cm^2}$$

A partir de este valor irradiación se realizó la determinación del tiempo con las dosis revisadas en bibliografía. Se tomó tres dosis de radiación UV-C utilizadas para la esterilización de frutas centrado en los microorganismos aerobios mesófilos con el propósito de identificar un efecto progresivo en la reducción de microorganismos.

En la tabla 5-4 se presenta dosis de radiación ultravioleta empleadas para la esterilización de frutas:

**Tabla 5-4:** Dosis de radiación UV-C utilizado para la esterilización de frutas.

DOSIS DE BIBLIOGRAFÍA $\left(\frac{J}{m^2}\right)$
1200
6000
12000

Fuente: Haro & Guerrero, 2013, p. 72.

Elaborado por: Ordoñez, Geovanny, 2023.

$$7772,2 \frac{\mu W}{cm^2} \times \frac{0,000006}{1 \mu W} \times \frac{(100cm)^2}{(1m)^2} = 77,722 \frac{W}{m^2}$$

$$7772,2 \frac{\mu W}{cm^2} \rightarrow 77,722 \frac{W}{m^2}$$

Dosis baja:

$$D = I \cdot t$$

$$1200 \frac{J}{m^2} = 77,722 \frac{W}{m^2} \cdot t$$

$$t = \frac{\left(1200 \frac{J}{m^2}\right)}{\left(77,722 \frac{W}{m^2}\right)}$$

$$t = 15,4396 \text{ s}$$

Dosis media:

$$D = I \cdot t$$

$$6000 \frac{J}{m^2} = 77,722 \frac{W}{m^2} \cdot t$$

$$t = \frac{\left(6000 \frac{J}{m^2}\right)}{\left(77,722 \frac{W}{m^2}\right)}$$

$$t = 77,1982 \text{ s}$$

Dosis alta:

$$D = I \cdot t$$

$$6000 \frac{J}{m^2} = 77,722 \frac{W}{m^2} \cdot t$$

$$t = \frac{\left(6000 \frac{J}{m^2}\right)}{\left(77,722 \frac{W}{m^2}\right)}$$

$$t = 77,1982 \text{ s}$$

Determinación del promedio de los tiempos a partir de la relación de la intensidad de radiación máxima con las dosis revisadas en bibliografía.

En la tabla 6-4 se puede observar los tiempos determinados a partir de las dosis de radiación UV para para esterilización de frutas:

**Tabla 6-4:** Tiempos calculados a partir de las dosis revisadas en bibliografía.

<b>VALORES CALCULADOS (s)</b>	
	15,4396
	77,1982
	154,3964

**Elaborado por:** Ordoñez, Geovanny, 2023.

$$t_{promedio} = \frac{(15,4396 + 77,1982 + 154,3964)}{3}$$

$$t_{promedio} = 82,3447 \text{ s}$$

Se tomó 10 mediciones de la Intensidad de Radiación en 82 segundos, con intervalos de 20 min entre las mediciones.

En la tabla 7-4 se observa los distintos valores de irradiancia medidos:

**Tabla 7-4:** Valores de la intensidad de radiación medidos.

<b>N°</b>	<b>VALOR DE IRRADIACIÓN PROMEDIO</b>	
	$\left(\frac{\mu W}{cm^2}\right)$	
1		5290,8
2		5254,9
3		5393,4
4		5469,3
5		5417,1
6		5363,1
7		5375,9
8		5360,1
9		5375,7
10		5381,7

**Elaborado por:** Ordoñez, Geovanny, 2023.

Promedio de los valores de irradiación media:

$$I_{promedio} = \frac{(5290,8 + 5254,9 + 5393,4 + 5469,3 + 5417,1 + 5375,9 + 5360,1 + 5375,7 + 5381,7)}{10}$$
$$I_{promedio} = 5368,20 \frac{uW}{cm^2}$$

Determinación del tiempo de irradiación para las láminas de bioplástico a partir de la Intensidad promedio calculada y las dosis revisadas en bibliografía:

$$I_{promedio} = 5368,20 \frac{uW}{cm^2} \times \frac{0,000006}{1uW} \times \frac{(100cm)^2}{(1m)^2} = 53,682 \frac{W}{m^2}$$
$$5368,20 \frac{uW}{cm^2} \rightarrow 53,682 \frac{W}{m^2}$$

En base a ese valor de intensidad de radiación promedio obtenido se procedió a determinar los valores de tiempo de exposición a partir de los datos presentados en la tabla 7-4 sobre dosis de radiación UV-C utilizados en frutas:

Dosis baja:

$$D = I \cdot t$$

$$1200 \frac{J}{m^2} = 53,682 \frac{W}{m^2} \cdot t$$

$$t = \frac{\left(1200 \frac{J}{m^2}\right)}{\left(53,682 \frac{W}{m^2}\right)}$$

$$t = 22,35 \text{ s}$$

Dosis media:

$$D = I \cdot t$$

$$6000 \frac{J}{m^2} = 53,682 \frac{W}{m^2} \cdot t$$

$$t = \frac{\left(6000 \frac{J}{m^2}\right)}{\left(53,682 \frac{W}{m^2}\right)}$$

$$t = 111,77 \text{ s}$$

Dosis alta:

$$D = I \cdot t$$

$$12000 \frac{J}{m^2} = 53,682 \frac{W}{m^2} \cdot t$$

$$t = \frac{\left(12000 \frac{J}{m^2}\right)}{\left(53,682 \frac{W}{m^2}\right)}$$

$$t = 223,54 \text{ s}$$

Dado que la dosis de radiación de  $1200 \frac{J}{m^2}$  no era tan eficaz para la esterilización de laminas de bioplásticos, lo cual se pudo evidenciar en la cuantificación de microorganismos, por ello, se estableció una nueva dosis para esterilización de las láminas de bioplástico.

En la tabla 8-4 se presenta las dosis de radiación ultravioleta extraída de bibliografía, pero en este caso se adicionó un nuevo valor de dosis:

**Tabla 8-4:** Dosis UV-C para esterilizar frutas.

DOSIS DE BIBLIOGRAFÍA $\left(\frac{J}{m^2}\right)$
6000
12000
24000

Fuente: Haro & Guerrero, 2013, p. 72.

Elaborado por: Ordoñez, Geovanny, 2023.

Dosis baja:

$$D = I \cdot t$$

$$6000 \frac{J}{m^2} = 53,682 \frac{W}{m^2} \cdot t$$

$$t = \frac{\left(6000 \frac{J}{m^2}\right)}{\left(53,682 \frac{W}{m^2}\right)}$$

$$t = 111,77 \text{ s}$$

Dosis media:

$$D = I \cdot t$$

$$12000 \frac{J}{m^2} = 53,682 \frac{W}{m^2} \cdot t$$

$$t = \frac{\left(12000 \frac{J}{m^2}\right)}{\left(53,682 \frac{W}{m^2}\right)}$$

$$t = 223,54 \text{ s}$$

Dosis alta:

$$D = I \cdot t$$

$$24000 \frac{J}{m^2} = 53,682 \frac{W}{m^2} \cdot t$$

$$t = \frac{\left(24000 \frac{J}{m^2}\right)}{\left(53,682 \frac{W}{m^2}\right)}$$

$$t = 447,08 \text{ s}$$

### **4.3. Resultados de la cuantificación de los microorganismos posterior a la esterilización**

En la tabla 9-4 se puede apreciar los resultados de la primera cuantificación de microorganismos, la misma que permite establecer la dilución de siembra para un factible conteo de microorganismos:

**Tabla 9-4:** Cuantificación de microorganismos.

Muestras	$\left(\frac{\text{Unidades Formadoras de Colonias}}{\text{área}}\right)$			Dosis de radiación UV-C $\left(\frac{J}{m^2}\right)$
	A	B	C	
<b>Testigo</b>	Bastante contaminación, no fue posible hacer el conteo, es necesario sembrar a la dilución -5.			Sin radiación
<b>Tratamiento 1</b>	Mucha contaminación, muy baja dosis, se sembró a la dilución -2, para una correcta cuantificación hubiese sido mejor a la -3.			1200
<b>Tratamiento 2</b>	310	420	490	6000
<b>Tratamiento 3</b>	120	460	10	12000

Elaborado por: Ordoñez, Geovanny, 2023.

Debido a que existió mucha contaminación en las láminas correspondientes al tratamiento 1, se descartó esta dosis y se agregó una más alta de modo que la dilución de siembra de las láminas esterilizadas sea la misma.

En la tabla 10-4 se observa los resultados de la cuantificación de microorganismos de las láminas de bioplástico de 25 cm<sup>2</sup> de área que fueron esterilizadas:

**Tabla 10-4:** Resultados de la cuantificación de microorganismos.

MUESTRAS	$\left(\frac{\text{Unidades Formadoras de Colonias}}{\text{área}}\right)$		
	A	B	C
<b>TESTIGO</b>	20000	78000	46000
<b>TRATAMIENTO 1</b>	1500	1600	800
<b>TRATAMIENTO 2</b>	150	100	<100
<b>TRATAMIENTO 3</b>	<100	<100	<100

Elaborado por: Ordoñez, Geovanny, 2023.

En la tabla 11-4 se observa los resultados de la cuantificación de microorganismos de las láminas de bioplástico de 25 cm<sup>2</sup> de área que fueron esterilizadas:

**Tabla 11-4:** Cuantificación de microorganismos realizada en la ESPOCH (Primera Repetición).

Muestras	$\left(\frac{\text{Unidades Formadoras de Colonias}}{\text{área}}\right)$			Dosis de radiación UV-C $\left(\frac{J}{m^2}\right)$
	A	B	C	
<b>Testigo</b>	260000	280000	Incontables (Gran crecimiento de mohos y levaduras en la dilución a la menos 4).	Sin radiación
<b>Tratamiento 1</b>	100	130	40	6000
<b>Tratamiento 2</b>	30	10	20	12000
<b>Tratamiento 3</b>	<10	<10	<10	24000

Elaborado por: Ordoñez, Geovanny, 2023.

En la tabla 12-4 se observa los resultados de la cuantificación de microorganismos de las láminas de bioplástico de 25 cm<sup>2</sup> de área que fueron esterilizadas:

**Tabla 12-4:** Cuantificación de microorganismos realizada en la ESPOCH (Segunda Repetición).

Muestras	$\left(\frac{\text{Unidades Formadoras de Colonias}}{\text{área}}\right)$			Dosis de radiación UV-C $\left(\frac{J}{m^2}\right)$
	A	B	C	
<b>Testigo</b>	40000	40000	80000	Sin radiación
<b>Tratamiento 1</b>	50	90	120	6000
<b>Tratamiento 2</b>	70	20	30	12000
<b>Tratamiento 3</b>	50	30	60	24000

Elaborado por: Ordoñez, Geovanny, 2023.

En la tabla presentada se puede apreciar que el tratamiento tres no salió totalmente limpios, sin embargo, puede atribuírsele a una contaminación del entorno de siembra a pesar de haber aplicado las medidas de limpieza adecuadas previamente.

En la tabla 13-4 se observa los resultados de la cuantificación de microorganismos de las láminas de bioplástico de 25 cm<sup>2</sup> de área que fueron esterilizadas:

**Tabla 13-4:** Cuantificación de microorganismos (Tercera Repetición).

Muestras	$\left(\frac{\text{Unidades Formadoras de Colonias}}{\text{área}}\right)$			Dosis de radiación UV-C $\left(\frac{J}{m^2}\right)$
	A	B	C	
Testigo	40000	40000	80000	Sin radiación
Tratamiento 1	170	30	150	6000
Tratamiento 2	80	50	60	12000
Tratamiento 3	560	30	60	24000

Elaborado por: Ordoñez, Geovanny, 2023.

Se puede apreciar de igual manera que las láminas correspondientes al tratamiento más alto salieron nuevamente contaminadas, de igual manera se hace una mención de una posible contaminación del entorno de siembra incluso existe una contaminación debajo de las láminas que puede estar influyendo en los resultados:

En la tabla 14-4 se puede observar los resultados de lámina esterilizada por los dos lados con la dosis que fue más efectiva:

**Tabla 14-4:** Cuantificación de una lámina de bioplástico esterilizada por las dos caras (arriba y abajo).

Conteo de Microorganismos	
Mohos y levaduras	$50 \frac{ufc}{25 cm^2}$
Dosis	$24000 \frac{J}{m^2}$
Superficies esterilizadas	2 (superior e inferior)

Elaborado por: Ordoñez, Geovanny, 2023.

En la tabla presentada se puede observar que, a pesar de ser esterilizadas las dos caras de las láminas de bioplástico, este procedimiento no es efectivo realizarlo si es realizado por etapas ya que puede existir una contaminación durante esta acción.

En la tabla 15-4 se presenta los resultados obtenidos de la cuantificación de microorganismos de la cara inferior de la lámina de bioplástico:

**Tabla 15-4:** Cuantificación de microorganismos de la parte inferior de la lámina (cara no esterilizada).

Muestras	$\left(\frac{\text{Unidades Formadoras de Colonias}}{\text{área}}\right)$			Dosis de radiación UV-C $\left(\frac{J}{m^2}\right)$
	A	B	C	
<b>Tratamiento 1</b>	10	30	30	6000
<b>Tratamiento 2</b>	30	30	80	12000
<b>Tratamiento 3</b>	10	10	40	24000

Elaborado por: Ordoñez, Geovanny, 2023.

#### 4.4. Condiciones de degradación para las láminas de bioplástico

##### 4.4.1. Condiciones de las láminas puestas a degradar al ambiente

En la tabla 16-4 se puede apreciar los datos de las condiciones de degradación al Ambiente obtenidos por medio de un termohigrómetro:

**Tabla 16-4:** Condiciones del medio de degradación Agua.

Condiciones de Degradación	
<b>Temperatura</b>	23°C
<b>Humedad</b>	50%

Elaborado por: Ordoñez, Geovanny, 2023.

##### 4.4.2. Condiciones de las láminas colocadas a degradar en el agua

En la tabla 17-4 se puede observar los datos correspondientes a las condiciones del medio de degradación Agua:

**Tabla 17-4:** Condiciones del medio de degradación Agua.

Condiciones de Degradación	
<b>PH</b>	6,35
<b>Aerobios Mesófilos</b>	<1 UFC/ml
<b>Dureza</b>	<10 mg/l
<b>Solidos Totales</b>	<52 mg/l

Fuente: LABCESTTA, 2022, p. 2.

Elaborado por: Ordoñez, Geovanny, 2023.

#### 4.4.3. Condiciones de las láminas colocadas a degradar en tierra

En la tabla 18-4 se presenta los resultados de los análisis realizados a la tierra que corresponde a las condiciones del medio de degradación Tierra:

**Tabla 18-4:** Condiciones del medio de degradación Tierra.

Condiciones de Degradación	
<b>PH</b>	9
<b>Materia Orgánica</b>	5,37 %
<b>Flora bacteriana (mohos y levaduras)</b>	30000 $\left(\frac{UFC}{10gr}\right)$
<b>Humedad</b>	35%

Elaborado por: Ordoñez, Geovanny, 2023.

##### 4.4.3.1. Determinación de la materia orgánica

**Fórmula de cálculo:**

$$\%MO = \frac{(\text{Peso} - \text{crisol} + \text{Muestra seca}) - (\text{Peso} - \text{crisol} + \text{Muestra calcinada})}{(\text{Peso} - \text{crisol} + \text{Muestra} - \text{seca}) - (\text{Peso} - \text{crisol} - \text{vacío})} \times 100$$

$$\%MO = \frac{(42.6494 + 3) - (42.6494 + 2.6769)}{(42.6494 + 3) - (39.6356)} \times 100$$

$$\%MO = 5.37$$

#### 4.5. Análisis estadístico de la dosis y la contaminación.

##### 4.5.1. Primera repetición

En la tabla 19-4 se puede observar los datos que corresponden a la relación de la dosis aplicada y la cuantificación de microorganismos:

**Tabla 19-4:** Valores de la contaminación de las láminas respecto a la dosis de radiación.

<b>Tratamiento</b>	<b>Dosis (<math>\frac{J}{m^2}</math>)</b>	<b>Contaminación (<math>\frac{UFC}{cm^2}</math>)</b>
<b>Testigo 1</b>	0	26000
<b>Testigo 2</b>	0	27000
<b>Testigo 3</b>	0	28000
<b>Tratamiento 1</b>	6000	100
<b>Tratamiento 2</b>	6000	130
<b>Tratamiento 3</b>	6000	40
<b>Tratamiento 4</b>	12000	30
<b>Tratamiento 5</b>	12000	10
<b>Tratamiento 6</b>	12000	20
<b>Tratamiento 7</b>	24000	0
<b>Tratamiento 8</b>	24000	0
<b>Tratamiento 9</b>	24000	0

Elaborado por: Ordoñez, Geovanny, 2023.

#### 4.5.1.1. Análisis de varianza de la Primera Repetición

En la tabla 20-4 se puede observar los resultados del análisis ANOVA que relaciona la variable dependiente e independiente, en el cual el valor-p es menor a 0,05 lo que representa que existe una diferencia significativa entre un nivel de dosis y otro:

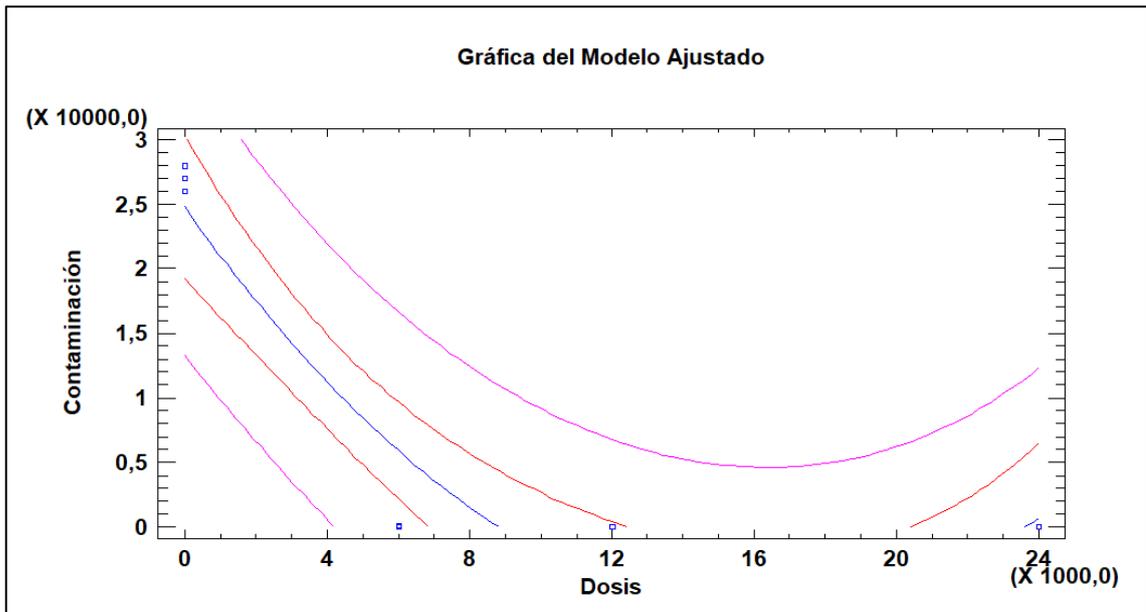
**Tabla 20-4:** Tabla ANOVA para Contaminación por Dosis.

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
<b>Entre grupos</b>	1,63581E9	3	5,4527E8	2176,29	0,0000
<b>Intra grupos</b>	2,0044E6	8	250550,		
<b>Total (Corr.)</b>	1,63782E9	11			

Elaborado por: Ordoñez, Geovanny, 2023.

#### 4.5.1.2. Gráfica del modelo ajustado

El modelo de Regresión Polinomial de orden 2 representa el 89,1136% de la variabilidad existente en la contaminación.



**Ilustración 1-4:** Grafica de la Regresión Polinomial-Contaminación versus Dosis.

Elaborado por: Ordoñez, Geovanny, 2023.

#### 4.5.2. Segunda repetición

En la tabla 21-4 se puede observar los datos que corresponden a la relación de la dosis aplicada y la cuantificación de microorganismos:

**Tabla 21-4:** Valores de la contaminación de las láminas respecto a la dosis de radiación.

Tratamiento	Dosis $\left(\frac{J}{m^2}\right)$	Contaminación $\left(\frac{UFC}{cm^2}\right)$
Testigo 1	0	40000
Testigo 2	0	80000
Testigo 3	0	80000
Tratamiento 1	6000	50
Tratamiento 2	6000	90
Tratamiento 3	6000	120
Tratamiento 4	12000	70
Tratamiento 5	12000	20
Tratamiento 6	12000	30
Tratamiento 7	24000	50
Tratamiento 8	24000	30
Tratamiento 9	24000	60

Elaborado por: Ordoñez, Geovanny, 2023.

#### 4.5.2.1. Análisis de varianza de la segunda repetición

En la tabla 22-4 se puede apreciar los resultados del análisis ANOVA que relaciona la variable dependiente e independiente, en el cual el valor-p es menor a 0,05 lo que representa que existe una diferencia significativa entre un nivel de dosis y otro:

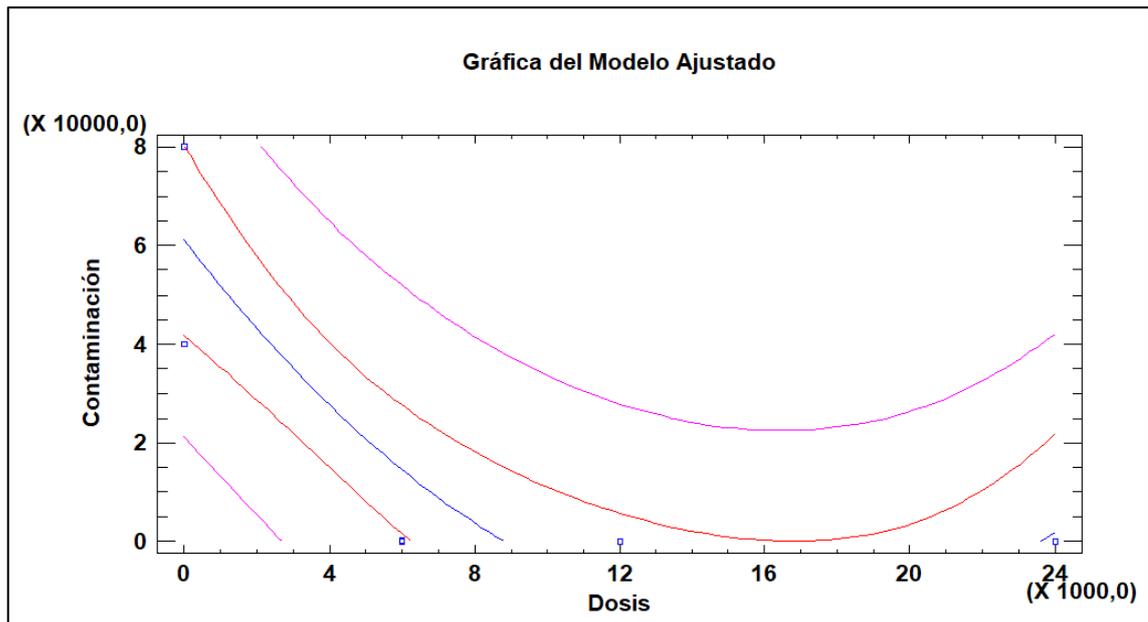
**Tabla 22-4:** Tabla ANOVA para Contaminación por Dosis.

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	9,98268E9	3	3,32756E9	24,96	0,0002
Intra grupos	1,06667E9	8	1,33334E8		
Total (Corr.)	1,10493E10	11			

Elaborado por: Ordoñez, Geovanny, 2023.

#### 4.5.2.1. Gráfica del modelo ajustado

El modelo de Regresión Polinomial de orden 2 representa el 80,5225% de la variabilidad existente en la contaminación.



**Ilustración 2-4:** Gráfica de la Regresión Polinomial-Contaminación versus Dosis.

Elaborado por: Ordoñez, Geovanny, 2023.

#### 4.5.3. Tercera repetición

En la tabla 23-4 se puede observar los datos que corresponden a la relación de la dosis aplicada y la cuantificación de microorganismos:

**Tabla 23-4:** Valores de la contaminación de las láminas respecto a la dosis de radiación.

Tratamiento	Dosis ( $\frac{J}{m^2}$ )	Contaminación ( $\frac{UFC}{cm^2}$ )
Testigo 1	0	40000
Testigo 2	0	80000
Testigo 3	0	80000
Tratamiento 1	6000	170
Tratamiento 2	6000	30
Tratamiento 3	6000	150
Tratamiento 4	12000	80
Tratamiento 5	12000	50
Tratamiento 6	12000	60
Tratamiento 7	24000	560
Tratamiento 8	24000	30
Tratamiento 9	24000	60

Elaborado por: Ordoñez, Geovanny, 2023.

##### 4.5.3.1. Análisis de varianza de la tercera repetición

En la tabla 24-4 se presenta los resultados del análisis ANOVA que relaciona la variable dependiente e independiente, en el cual el valor-p es menor a 0,05 lo que representa que existe una diferencia significativa entre un nivel de dosis y otro:

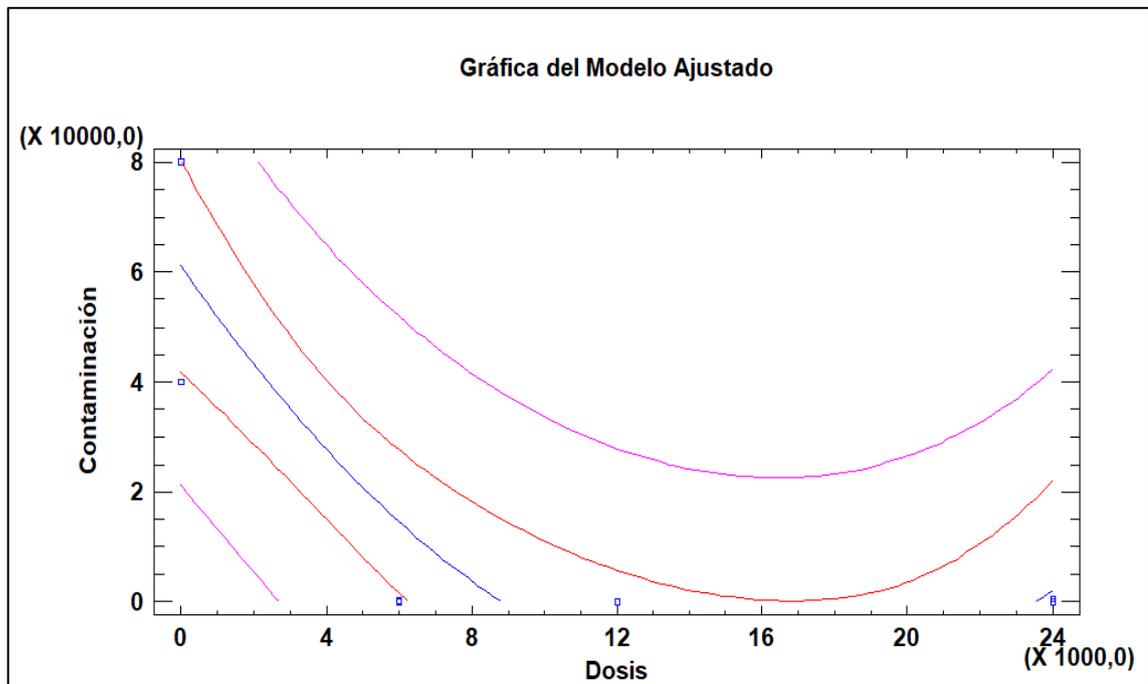
**Tabla 24-4:** Tabla ANOVA para Contaminación por Dosis (Tercera Repetición).

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	9,96041E9	3	3,32014E9	24,90	0,0002
Intra grupos	1,06686E9	8	1,33357E8		
Total (Corr.)	1,10273E10	11			

Elaborado por: Ordoñez, Geovanny, 2023.

#### 4.5.3.2. Gráfica del modelo ajustado

El modelo de Regresión Polinomial de orden 2 representa el 80,5085% de la variabilidad existente en la contaminación.



**Ilustración 3-4:** Gráfica de la Regresión Polinomial-Contaminación versus Dosis.  
Elaborado por: Ordoñez, Geovanny, 2023.

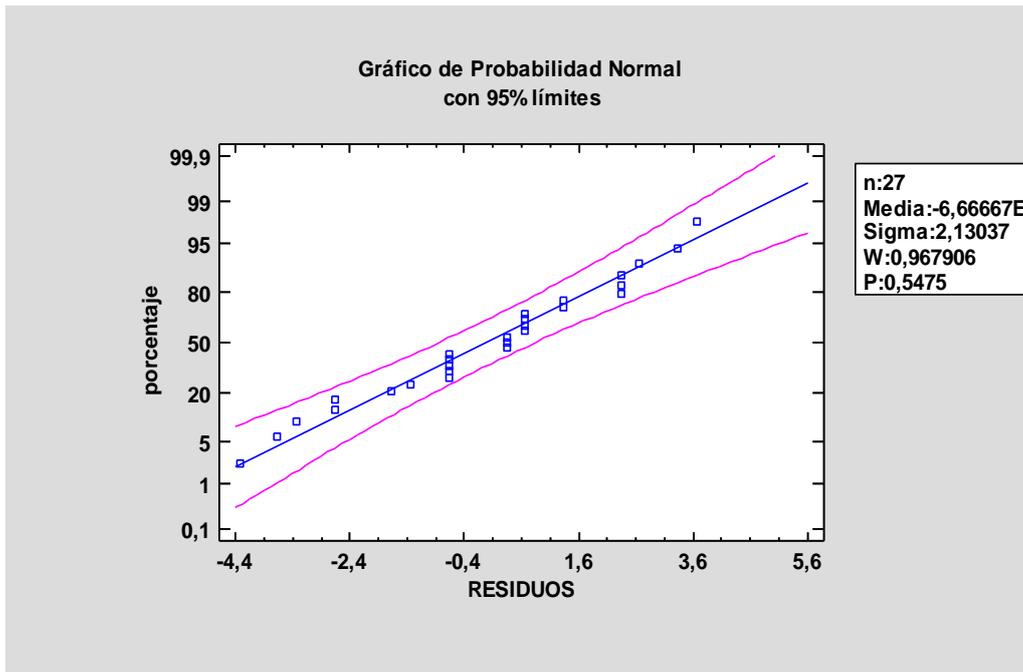
#### 4.6. Análisis estadístico de la dosis y la degradabilidad de las láminas de bioplásticos.

##### 4.6.1. Análisis de los supuestos del análisis de varianza.

Los supuestos del análisis de varianza permiten asegurar que los valores obtenidos son fiables, por ende, los resultados pueden ser interpretados y se garantiza que el modelo se ajusta de forma adecuada a los datos.

##### 4.6.1.1. Normalidad

Los datos presentados en el siguiente gráfico siguen una distribución normal, por ende, en los valores no existen discrepancias que puedan influir en la fiabilidad de los datos:

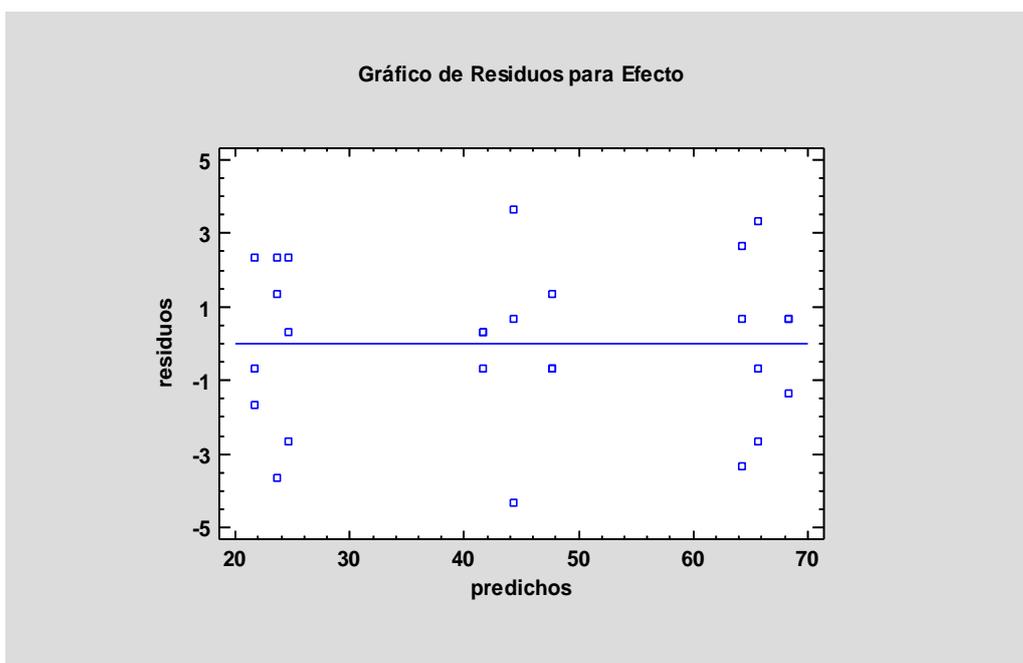


**Ilustración 4-4:** Gráfico de la probabilidad normal de los residuos.

Elaborado por: Ordoñez, Geovanny, 2023.

#### 4.6.1.2. Homocedasticidad

Los datos de las varianzas muestran similitud lo que significa que los valores no se han visto afectados por algún efecto externo durante la medición de estos.

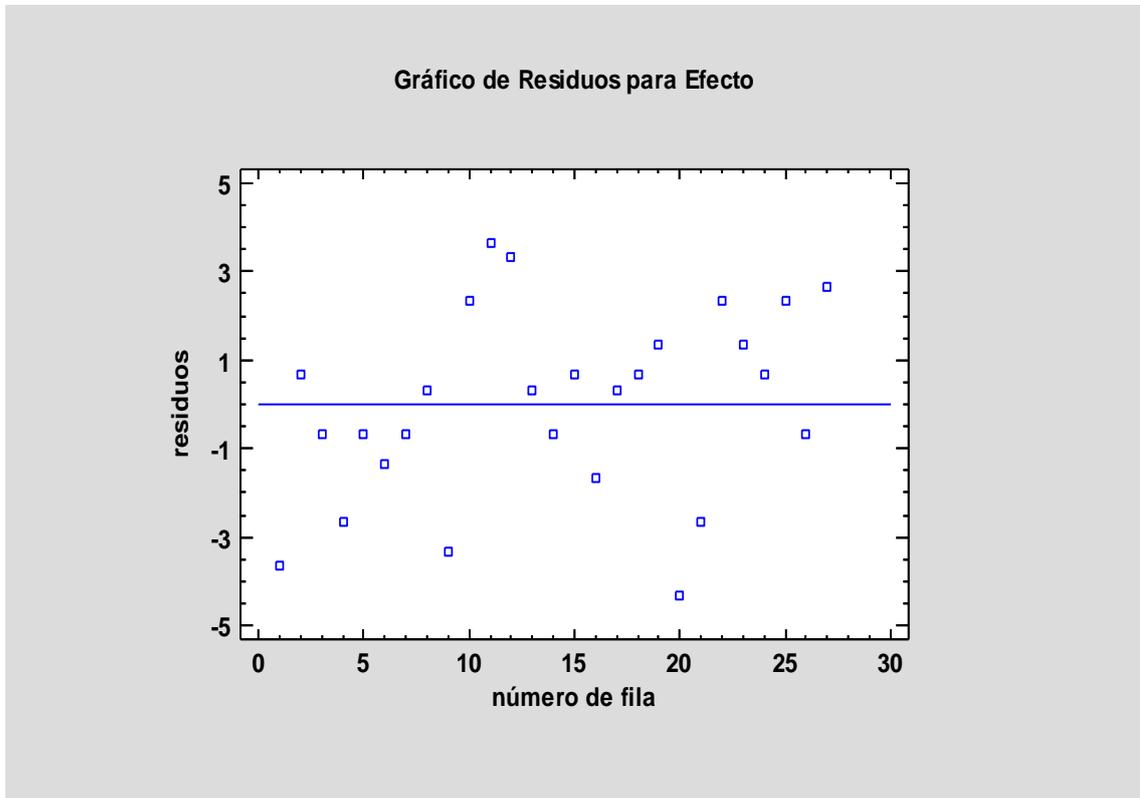


**Ilustración 5-4:** Gráfico del supuesto de homocedasticidad.

Elaborado por: Ordoñez, Geovanny, 2023.

#### 4.6.1.3. Independencia

Entre los grupos de datos existe independencia unos de otros, por ello se establece que cumple con el supuesto de normalidad, que valida los datos medidos.



**Ilustración 6-4:** Gráfico del supuesto de independencia.

Elaborado por: Ordoñez, Geovanny, 2023.

#### 4.6.2. Análisis de varianza de la degradabilidad respecto a la dosis utilizada.

En la tabla 25-4 se puede apreciar los datos de degradabilidad de las láminas de bioplástico de yuca en los distintos medios de degradación relacionado con las dosis que fue aplicada:

**Tabla 25-4:** Datos de la degradabilidad respecto a la dosis aplicada.

N°	Dosis ( $\frac{J}{m^2}$ )	Degradabilidad	
		Medio de degradación	Porcentaje (%)
1	6000	Ambiente	20
2	6000	Agua	45
3	6000	Tierra	65
4	12000	Ambiente	22
5	12000	Agua	47
6	12000	Tierra	67
7	24000	Ambiente	21
8	24000	Agua	42
9	24000	Tierra	61
10	6000	Ambiente	26
11	6000	Agua	48
12	6000	Tierra	69
13	12000	Ambiente	25
14	12000	Agua	47
15	12000	Tierra	69
16	24000	Ambiente	20
17	24000	Agua	42
18	24000	Tierra	65
19	6000	Ambiente	25
20	6000	Agua	40
21	6000	Tierra	63
22	12000	Ambiente	27
23	12000	Agua	49
24	12000	Tierra	69
25	24000	Ambiente	24
26	24000	Agua	41
27	24000	Tierra	67

Elaborado por: Ordoñez, Geovanny, 2023.

En la tabla 26-4 se presenta los resultados que los datos que corresponden al casillero valor-p son inferiores a 0,05 se comprueba que estos dos factores (dosis y medio de degradación) influyen significativamente sobre los datos del efecto (porcentaje de degradación), esto demuestra un nivel de confianza del 95%.

**Tabla 26-4:** Análisis de varianza para el efecto (porcentaje de degradación).

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
<b>EFECTOS PRINCIPALES</b>					
<b>A: Dosis</b>	84,6667	2	42,3333	6,46	0,0077
<b>B: Medio</b>	8234,89	2	4117,44	628,08	0,0000
<b>INTERACCIONES</b>					
<b>AB</b>	8,44444	4	2,11111	0,32	0,8595
<b>RESIDUOS</b>	118,0	18	6,55556		
<b>TOTAL (CORREGIDO)</b>	8446,0	26			

Elaborado por: Ordoñez, Geovanny, 2023.

## CONCLUSIONES

- Se evaluó el uso de la radiación ultravioleta de onda corta (UV-C) como método de esterilización de bioplásticos a través de un análisis estadístico ANOVA en el cual cada repetición dio como resultado un valor-p (p-value) inferior a 0,05, lo cual representa que existe una diferencia significativa entre un nivel de dosis y otro, por ello se establece que este método es efectivo para la esterilización de las láminas, sin embargo, las láminas no tienen una contaminación totalmente de 0 UFC/cm<sup>2</sup> por lo que no es totalmente inocuo para la conservación de alimentos, por otra parte, entre los análisis realizados y los elaborados en un laboratorio particular muestran una discrepancia en los datos obtenidos, y que estos pueden estar afectados por el medio en el que se está trabajando y que la radiación UV-C por sí sola no es suficiente para garantizar una esterilización completa.
- Se elaboró láminas de bioplástico a partir del almidón de yuca, las láminas obtenidas por medio de esta materia prima junto con ácido acético, agua destilada y glicerina constituyen una lámina de bioplástico que tiene buena textura, ligeramente opaca y que es capaz de soportar la radiación ultravioleta sin resultar afectada significativamente, sin embargo, el único efecto posterior a la radiación que se pudo observar en las láminas fue una deformación temporal al igual que cuando está en contacto con el agua. Se eligió esta composición ya que una caracterización preliminar del bioplástico dio resultados aceptables y luego de exponerlo a la radiación no tuvo ningún daño, por lo tanto, esto permitió que esta formulación sea aprobada para aplicarle las distintas dosis de radiación ultravioleta investigadas.
- Se planteó un diseño de experimentos que permitió la evaluación de la degradabilidad del bioplástico respecto a la irradiancia ultravioleta aplicada, en distintos medios controlados. El diseño establecido fue 3<sup>2</sup> en el cual se tiene 2 factores, primero la dosis ( $6000 \frac{J}{m^2}$ ,  $12000 \frac{J}{m^2}$  y  $24000 \frac{J}{m^2}$ ) y segundo el medio de degradación (Ambiente, Tierra y Agua). Se estableció aquellos medios de degradación debido a que son los tres posibles entornos que usualmente se encuentran los residuos humanos, en cambio, la dosis empleada fue revisada en bibliografía y probada de modo que como resultado se obtenga una reducción significativa de los microorganismos, por ello inicialmente se probó la dosis de radiación de  $1200 \frac{J}{m^2}$  y al obtener unos resultados muy altos de contaminación al momento de cuantificar los microorganismos se descartó aquella dosis y se adicionó una mayor ( $24000 \frac{J}{m^2}$ ). De modo que se puede apreciar una disminución considerable de microorganismos, sin embargo, no se cumple con la disminución de microorganismos hasta el estándar que sugieren las normas sobre seguridad alimentaria, por ejemplo, la norma Norma Peruana, aprobada por la

Resolución Ministerial 461-2007-MINSA establece que una superficie se encuentra inerte y limpia si el valor de coliformes totales es menor a las 10 UFC/cm<sup>2</sup>, por lo tanto se considera que si bien existe una disminución considerable de microorganismos por la radiación UV, existe una recontaminación que por parte de la parte inferior no irradiada de la lámina de bioplástico.

- Se identificó que existe un efecto significativo de la radiación ultravioleta en la degradación de las láminas de bioplástico, se pudo observar que las láminas tanto en el medio agua y tierra se vieron mayormente afectadas en su calidad en comparación a los bioplásticos que se encontraban degradándose al ambiente. Si bien la Norma UNE-EN (Versión oficial en español de las normas europeas) 13432:2001 establece que el 90% del material debe descomponerse en 6 meses para ser considerado biodegradable o compostable, las láminas de bioplásticos sometidas a la radiación UV-C presentan en un lapso de 3 meses una degradación de 20-27% al ambiente, 40-49% en el agua y 61-69% en tierra, por lo que se puede concluir que la degradación de la lámina esterilizada es mayor dependiendo del medio, si se analiza en base a la norma establecida en 3 meses se debería degradar aproximadamente un 45% del material, las láminas que se apegan a ese resultado son las del medio Agua.

## RECOMENDACIONES

- Mantener hidratado el medio de degradación Suelo para evitar que la lámina se cristalice debido a que se reduce el nivel de humedad de la lámina.
- Es importante tener en cuenta que el medio en el que se siembra debe estar libre de cualquier otra actividad ya que puede afectar las actividades de la zona en que se está sembrando microorganismos, ocasionando así que los resultados puedan llegar a ser afectados.
- Se debe tener en cuenta que el agar para llevar a cabo la siembra en masa debe estar a una temperatura soportable al tacto, porque en caso de estar muy elevada la temperatura de este puede llegar a eliminar a los microorganismos alojados en la placa.
- Al obtener el almidón por vía húmeda es importante realizar un lavado de este con el fin de retirar cualquier impureza que se encuentra en el mismo.
- Si bien las medias nailon son un buen elemento para separar la pulpa del almidón por medio de estas se puede llegar a pasar algo de la fibra, si bien no significa un gran problema porque puede ser separado una vez que se lleve a secar el almidón es importante tener en cuenta que no se debe ejercer mucha fuerza para extraer la solución agua-almidón.

## BIBLIOGRAFÍA

**ANDRADE, M. J.** “Uso de la radiación ultravioleta en la industria agroalimentaria”. *Revista Científica Ecuatoriana*, vol. 6, n° 1 (2019), (Ecuador) pp. 12-13.

**DUARTE, L. A.** Bioplásticos: contexto actual, aplicaciones y sostenibilidad (Trabajo de titulación) (Licenciatura). Universidad de Córdoba, Facultad de Ciencias de la Salud, Departamento de Bacteriología. Córdoba-Colombia. 2022. pp. 4-30 [Consulta: 22 diciembre 2023]. Disponible en: <https://repositorio.unicordoba.edu.co/handle/ucordoba/4872>

**FRIZZERA, V. D.** “Radiaciones no ionizantes”. *Comisión Nacional de Comunicaciones (CNC)*, vol. 1, n° 1 (2007), (Argentina) pp. 5-9.

**GÁLVEZ, A. G.** ELABORACIÓN DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE A PARTIR DEL ALMIDÓN EXTRAÍDO DEL MAÍZ (*Zea mays*) (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química. Guatemala. 2016. pp. 13-14 [Consulta: 3 enero 2023]. Disponible en: <http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/1397210>

**GARCÍA, A. V.** OBTENCIÓN DE UN POLÍMERO BIODEGRADABLE A PARTIR DE ALMIDÓN DE MAÍZ [Blog]. 2016. [Consulta: 3 enero 2023]. Disponible en: [CARÁTULA DE GUÍA INSTITUCIONAL DE ANTEPROYECTO DE INVESTIGACIÓN \(itca.edu.sv\)](http://itca.edu.sv)

**GÓMEZ, J. G.** DIAGNÓSTICO DEL IMPACTO DEL PLÁSTICO -BOTELLAS SOBRE EL MEDIO AMBIENTE: UN ESTADO DEL ARTE (Trabajo de titulación) (Licenciatura). Universidad Santo Tomás, Facultad de Ciencias y Tecnologías. Facatativá-Cundinamarca. 2016. pp. 63-64.

**GUAVITA, D. A.** “Luz ultravioleta”. *Revista Sthetic & Academy*. vol. 1, n° 1 (2015), (Colombia) pp. 37-38.

**GUTIÉRREZ PULIDO, H., & DE LA VARA SALAZAR, R.** *Análisis y diseño de experimentos*. 2ª ed. Ciudad de México-México: McGraw-Hill, 2008. ISBN-10: 970-10-6526-3, pp. 128-130.

**HARO, F., & GUERRERO, A.** “Efecto de la radiación UV-C en frutas y verduras”. *Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental, Universidad de las Américas Puebla*, vol. 7, n° 1 (2013), (México) pp. 68-77.

**HOLGUIN, J. S.** Obtención de un bioplástico a partir de almidón de papa (Proyecto integral de grado) (Ingeniería). Fundación Universidad de América, Facultad de Ingenierías, Programa de Ingeniería Química. Bogotá-Colombia. 2019. pp. 24-40.

**HOYOS, M., & FLORES, L.** “Tipos de radiación, aplicaciones, beneficios y riesgos”. *Revista de Actualización Clínica* [en línea], 2013, (Bolivia) vol. 37 (n° 1), pp. 1798-1802. [Consulta: 7 enero 2023]. ISSN 2304-3768. Disponible en: [Revista de Actualización Clínica Investiga - Tipos de Radiación, Aplicaciones, Beneficios y Riesgos \(revistasbolivianas.ciencia.bo\)](http://revistasbolivianas.ciencia.bo)

**HUANCAHUIRE, J. W.** Evaluación de la degradación de mezclas de bioplásticos en compostaje a alta temperatura (Proyecto Final de Carrera) (Maestría). Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona, Departamento de Ingeniería Química. Barcelona-España. 2016. pp. 9-40.

**INSTITUTO REGIONAL DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO.** “Radiaciones ópticas artificiales. Factores relacionados con la fuente y las medidas de control-Guía práctica”. *Ideara Investigación* [en línea], 2013, (España) vol. 1 (n° 1), pp. 9-10. Disponible en: [BVCM010773 Radiaciones ópticas artificiales. Factores relacionados con la fuente y las medidas de control \(madrid.org\)](http://madrid.org)

**LIMA, J. A.** Cuatro casos de estudio de las radiaciones: concentración de radón intramuros, simulación de expansión de partículas alfa, concentración de neutrones secundarios y detección de partículas ionizantes a partir de la caracterización de arborescencias eléctricas (Trabajo Final) (Doctorado). Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ciencias. Puebla-México. 2018. pp. 1-2 [Consulta: 8 enero 2023]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12371/8436>

**MCMURRY, J.** *Química orgánica*. 7a. ed. México: Cengage Learning Editors, S.A. ISBN: 0-495-11258-5. pp. 57-60.

**MERA, Y. J., RENDÓN, A. V., BERNAL, A. E., & BAQUE, L. A.** “Análisis De La Problemática Y Enfoque Entorno A La Elaboración De Envases Biodegradables A Partir De Subproductos Del Maíz”. *Revista Ingeniería e Innovación* [en línea], 2020, (Colombia) vol. 8 (n°

2), pp. 20-23. [Consulta: 10 enero 2023]. Número ISSN 2346-0474. Disponible en: <https://orcid.org/0000-0002-5532-7794>

**MILLÁN, D., ROMERO, L., BRITO, M., & YNDIRA, A.** “Ultraviolet LIGHT: MICROBIAL INACTIVATION ON FRUITS”. Revista científica SciELO [en línea], 2015, (Venezuela) vol. 27 (n° 3), pp. 454-469. [Consulta: 10 enero 2023]. Número ISSN 1315-0162. Disponible en: [http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1315-01622015000300011&script=sci\\_abstract&tlng=en](http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1315-01622015000300011&script=sci_abstract&tlng=en)

**MIRANDA, J. R., MARTÍNEZ, S., & KENEDY, J. F.** *Análisis del tratamiento actual de las lámparas fluorescentes, nivel de contaminantes y disposición final*. 1ª ed. El Salvador: DSpace Repository, 2014, ISBN 978-99961-48-48-4, pp. 38-40.

**NASIR, N. N., & OTHMAN, S. A.** “Effect of radiation treatment on starch bioplastic-A review”. International Journal of Advancement in Life Sciences Research [en línea], 2019, (Malasia) vol. 2 (n° 4), pp. 1-7. [Consulta: 10 enero 2023]. ISSN 2581-4877. Disponible en: <https://doi.org/10.31632/ijalsr.2019v02i04.001>

**NIVELLO, B. D.** Obtención de un plástico biodegradable a partir del almidón de jengibre (*Zingiber officinale*) para su uso en el embalaje de alimentos (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química. Riobamba-Chimborazo. 2021. pp. 33-34.

**ORTEGA, J. G., VALVERDE, A., BLANCA, L., GANCHOZO, I., CASTRO, C., MÁXIMO, P., TUMBACO, V., COBEÑA, J. A., & VERA VELÁSQUEZ, R.** *Diseños Experimentales: Teoría y práctica para experimentos agropecuarios*. 2ª ed. Guayaquil-Ecuador: Editorial Grupo Compás, 2021. ISBN 978-9942-33-381-0, pp. 6-8.

**PASTRANA, F. E., ALVIZ, H. S., & SALCEDO, J. G.** “Respuesta de dos cultivares de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) (CM 3306-4 y MCOL 2215) a la aplicación de riego en condiciones hídricas diferentes”. Revista científica SciELO [en línea], 2014, (Colombia) vol. 64 (n° 1), pp. 49-50. [Consulta: 10 enero 2023]. Número ISSN 2323-0118. Disponible en: <https://doi.org/10.15446/acag.v64n1.43935>

**PEÑALOZA, T. R.** Implementación de un prototipo de control de potencia para una lámpara de luz ultravioleta aplicado en el estudio de desinfección de aguas industriales. Universidad nacional de San Agustín de Arequipa [en línea] (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Facultad de Ingeniería de Producción y Servicios. Arequipa-Perú.

2018. pp. 15-17. [Consulta: 11 enero 2023]. Disponible en: <https://1library.co/document/qv1xm90y-implementacion-prototipo-potencia-lampara-ultravioleta-aplicado-desinfeccion-industriales.html>

**PÉREZ, J.** Biodegradación de tereftalato de polietileno: microorganismos, enzimas y perspectivas futuras [en línea] (Trabajo de titulación) (Licenciatura). Universidad de la Laguna. España. 2020. pp. 15-20. [Consulta: 13 enero 2023]. Disponible en: <http://riull.ull.es/xmlui/handle/915/20671>

**PICÓ, J. A.** Cosmetotecnica de los dentífricos. Relevancia del comportamiento reológico [en línea] (Trabajo final) (Doctorado). Universidad de Valencia, Facultad de Farmacia. España. 2016. pp. 44-46. [Consulta: 13 enero 2023]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=252848>

**REINKING, L.** *ImageJ Basics* [blog]. 2007. [Consulta: 13 enero 2023] Disponible en: <http://rsb.info.nih.gov/ij/>

**SALCEDO, J. G., HERNANDEZ, E. J., & FIGEROA, J.** *Agroindustria de productos amiláceos II: Métodos y técnicas de caracterización*. 1ª ed. Colombia: Editorial Universidad de Sucre, 2017. ISBN 978-958-59926-0-3. pp. 6-8.

**SÁNCHEZ, D.** *Análisis del software ImageJ para el análisis científico de imágenes* [blog]. 2014. [Consulta: 13 enero 2023] Disponible en: <https://oa.upm.es/33069/>

**SILVESTRE, C.** Estudio de termoluminiscencia ópticamente estimulada con radiación uv en películas de SRO fabricadas por el método LPCVD para el desarrollo de dosímetros [en línea] (Trabajo final) (Ingeniería). Universidad de Sonora. México. 2012. pp. 4-5. Disponible en: <http://148.225.114.121/jspui/handle/unison/1398>

**SORIANO, B.** Biodegradación de plásticos en ambientes naturales [En línea] (Trabajo de fin de grado) (Grado en Ciencias Ambientales). Universidad de Alcalá. 2020. México. pp. 9-11. [Consulta: 20 enero 2023]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10017/45807>

**TERRÁDEZ, M., & ÁNGEL, J.** “Análisis de la varianza (ANOVA)-Proyecto e-Math”. *Universidad Oberta de Catalunya*, vol. 1, n° 1 (2003), (España) pp. 2-5.

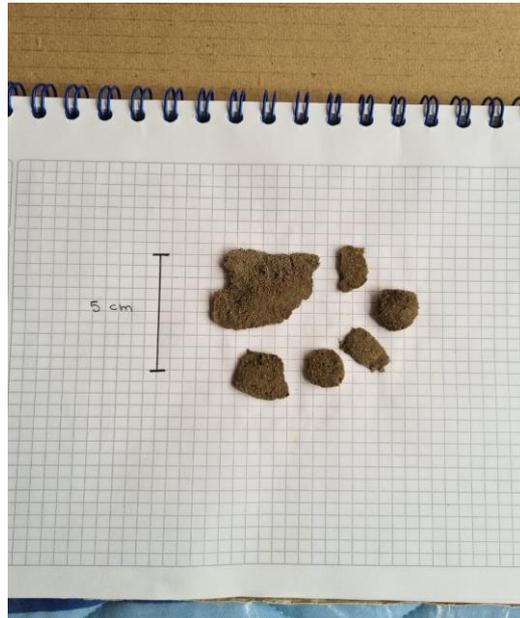
**TROYA, S.** Diseño y simulación de una plantade producción de ácido acético de 75.000t/año y pureza del 99,5% [En línea] (Trabajo final) (Maestría). Escuela Politécnica Superior (Jaén), Departamento de Ingeniería Química, Ambiental y de los Materiales. España. 2019. pp. 6-8. [Consulta: 23 enero 2023]. Disponible en: <https://eps.ujaen.es>

**VERGARA, A., HERNÁNDEZ, M., & RAMÍREZ, R.** “Evaluación de la adhesión de un pegante realizado con almidón nativo de yuca (*Manihot sculenta Crantz*) variedad M-Tai”. Revista de Investigación [En línea], 2018, (España) vol. 11 (n° 1). pp. 17-20. [Consulta: 25 enero 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.29097/2011-639X.181>



## ANEXOS

### ANEXO A: DETERMINACIÓN DEL ÁREA PERDIDA DE LA LÁMINA COLOCADA A DEGRADAR EN TIERRA.



### ANEXO B: MAQUINA UNIVERSAL EMPLEADA PARA LAS PRUEBAS MECÁNICAS DE LAS LÁMINAS DE BIOPLÁSTICO.



**ANEXO C: YUCA DESCARTADA DEBIDO A SU CONTAMINACIÓN**



**ANEXO D: PRUEBA DE LUGOL DEL ALMIDÓN DE YUCA**



**ANEXO E: SEDIMENTACIÓN DEL ALMIDÓN DE YUCA**



**ANEXO F: TAMIZADO DEL ALMIDÓN DE YUCA.**



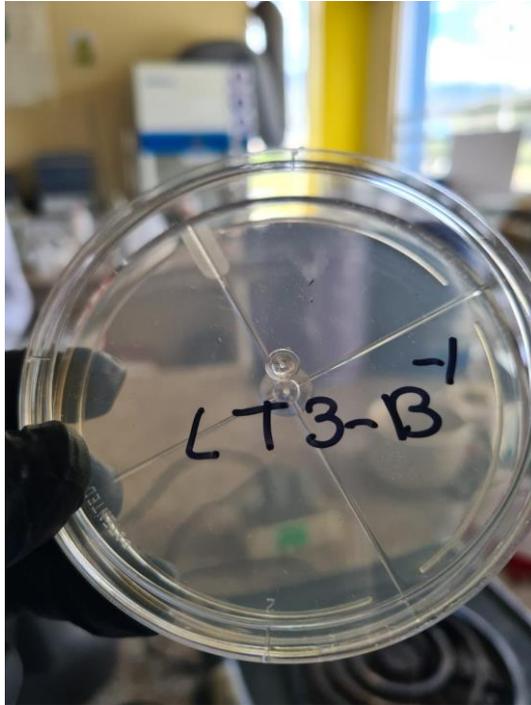
**ANEXO G: TRITURACIÓN DEL ALMIDÓN DE YUCA.**



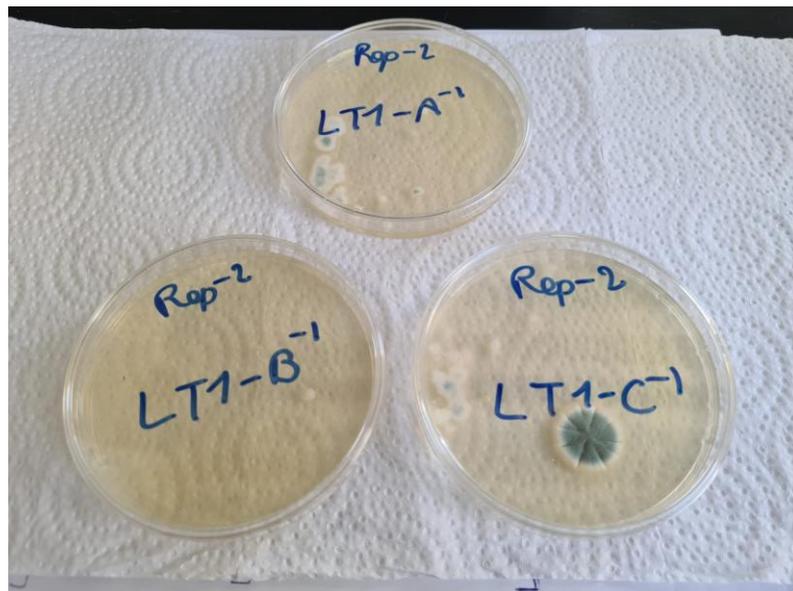
**ANEXO H: ELABORACIÓN DE LAS LAMINAS DE BIOPLÁSTICO.**



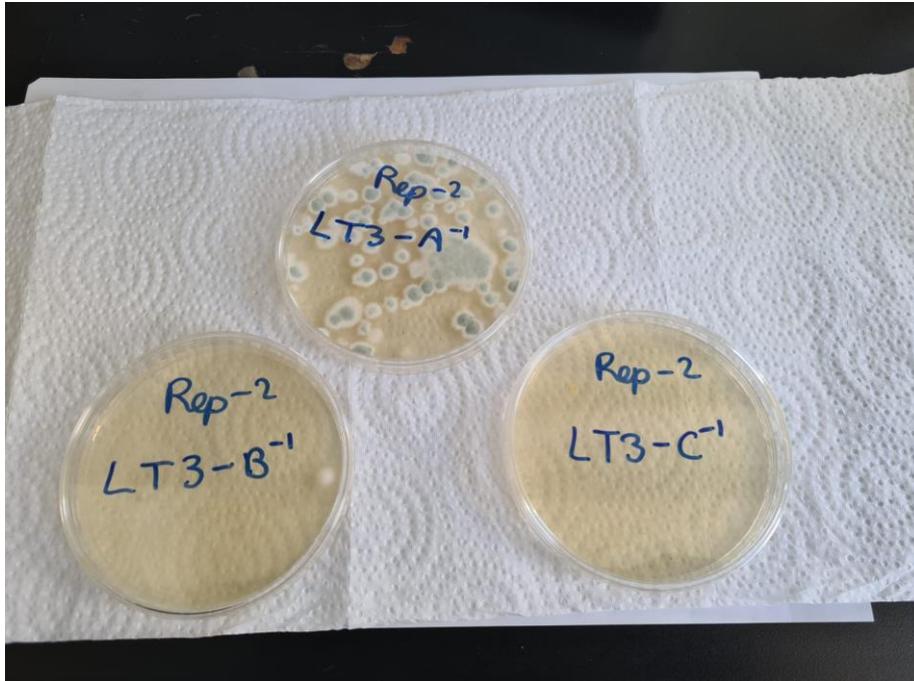
**ANEXO I:** PLACA SEMBRADA LIMPIA PERTENECIENTE AL TRATAMIENTO 3 (PRIMERA REPETICIÓN).



**ANEXO J:** PLACAS SEMBRADAS PERTENECIENTES AL TRATAMIENTO 1 (SEGUNDA REPETICIÓN).



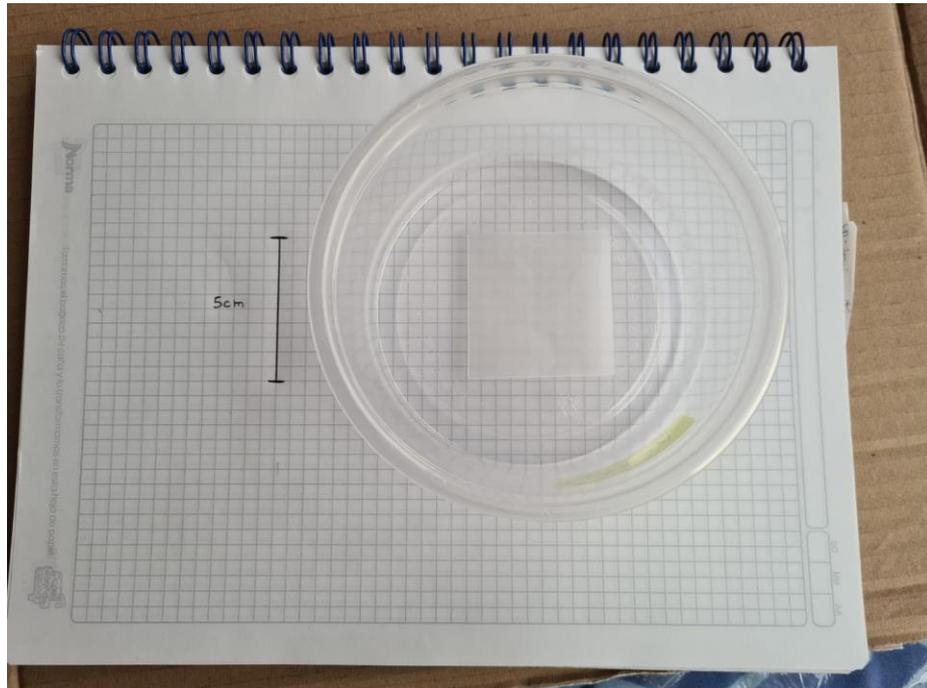
**ANEXO K: PLACAS SEMBRADAS PERTENECIENTES AL TRATAMIENTO 3  
(SEGUNDA REPETICIÓN).**



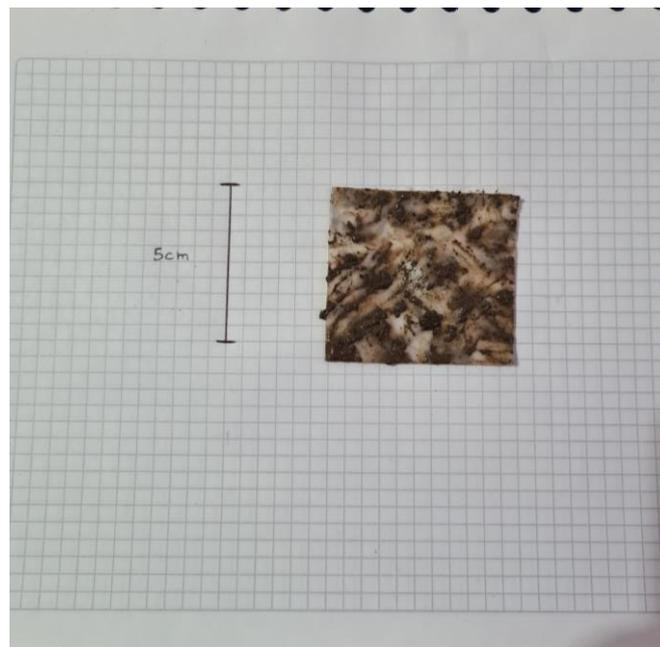
**ANEXO L: LÁMINAS COLOCADAS EN LOS DISTINTOS MEDIOS DE DEGRADACIÓN  
(AMBIENTE, AGUA Y TIERRA).**



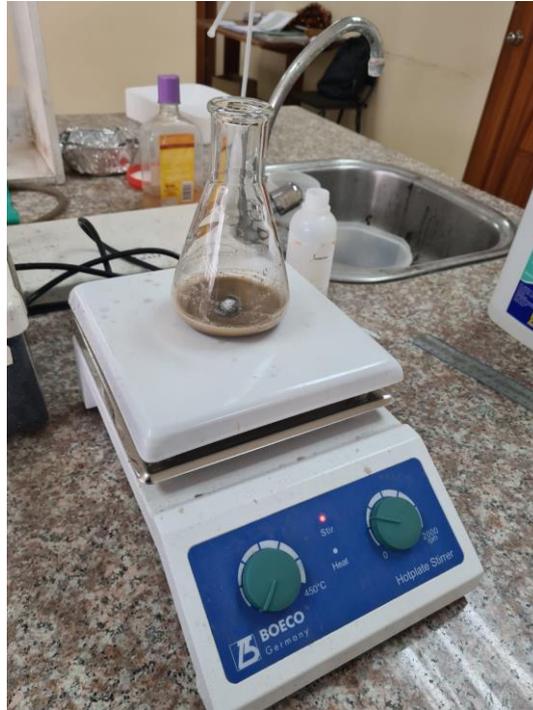
**ANEXO M: LÁMINA DE BIOPLÁSTICO EN EL MEDIO AMBIENTE.**



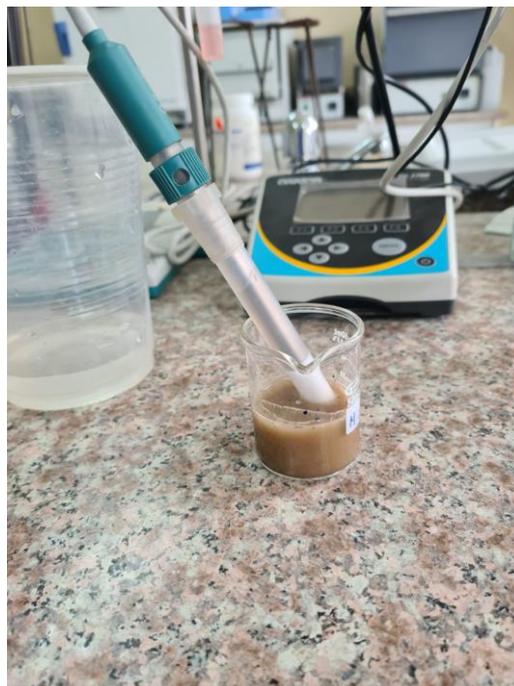
**ANEXO N: LÁMINA DEL MEDIO DE DEGRADACIÓN TIERRA CON SOBRE SATURACIÓN DE AGUA.**



**ANEXO Ñ: MUESTRA DE SUELO DILUIDA PARA ANÁLISIS DE MICROORGANISMOS AEROBIOS MESÓFILOS.**



**ANEXO O: ANÁLISIS DEL PH DEL SUELO.**



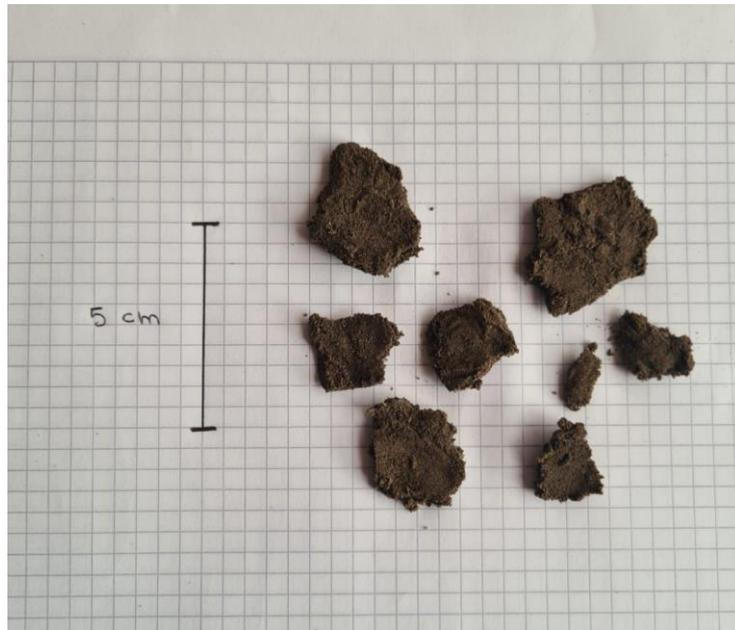
**ANEXO P: MUESTRA DE SUELO POSTERIOR A LA CALCINACIÓN PARA EVALUAR SU CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA.**



**ANEXO Q: MATERIALES (AGAR Y TUBOS ENSAYO PARA LAS DILUCIONES) PREPARADOS PARA LLEVAR AL AUTOCLAVE.**



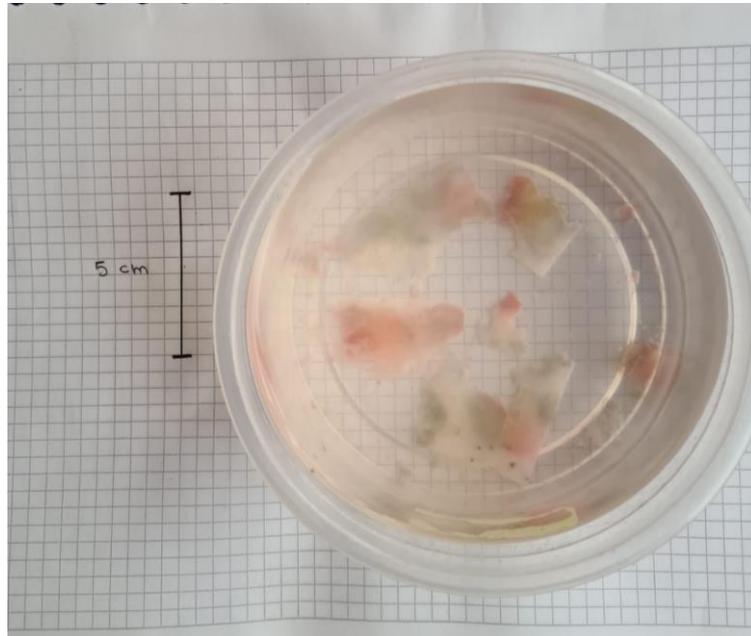
**ANEXO R: LÁMINA DE BIOPLASTICO DEL MEDIO DE DEGRADACIÓN TIERRA.**



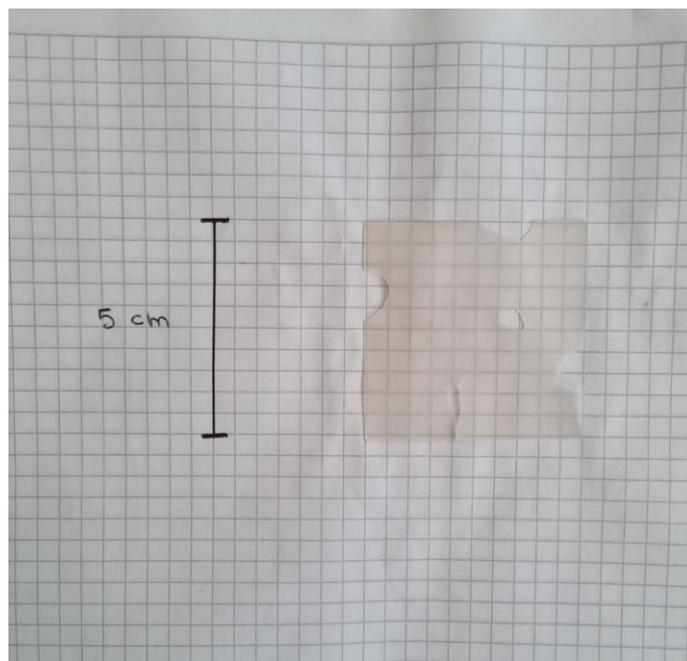
**ANEXO S: PLACA SEMBRADA CON SOBRECRECIMIENTO DE MICROORGANISMOS.**



**ANEXO T: MEDICIÓN DE LA LÁMINA DE BIOPLÁSTICO EN EL MEDIO DE DEGRADACIÓN AGUA.**



**ANEXO U: MEDICIÓN DE LA LÁMINA DE BIOPLÁSTICO EN EL MEDIO DE DEGRADACIÓN AMBIENTE.**



## ANEXO V: ANÁLISIS BACTERIOLÓGICOS DEL ALMIDÓN DE YUCA.

  
**saqmic**  
LABORATORIO DE SERVICIOS ANALÍTICOS  
QUÍMICOS Y MICROBIOS EN AGUA Y ALIMENTOS

### INFORME DE ANÁLISIS BACTEREOLÓGICOS

<b>CLIENTE:</b> Sr. Geovanny Ordoñez
<b>UBICACION:</b> Riobamba
<b>TIPO DE MUESTRA:</b> Almidón de Yuca
<b>FECHA DE ENTREGA:</b> 05 de enero del 2023

#### Examen Físico

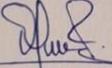
<b>COLOR:</b> Blanquecino
<b>OLOR:</b> Inoloro
<b>ASPECTO:</b> Polvo granular, fino, homogéneo

#### Examen Bacteriológico

Determinaciones	Unidades	*Valores de referencia	Resultados
Coliformes Totales	UFC/g	-	< 10
Mohos	UFC/g	-	< 10
Levaduras	UFC/g	4 x 10 <sup>3</sup>	600

Observaciones:

Atentamente,





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

Dra. Gina Álvarez R.  
RESPONSABLE TECNICO LABORATORIO

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

Avenida 9 de Octubre # 12 y Madrid  
Contáctanos: ☎0998580374 ☎032 942 322  
Saqmic Laboratorio  
Riobamba - Ecuador



## ANEXO W: ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DEL MEJOR TRATAMIENTO.



### INFORME DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Fecha: 20 de diciembre de 2022.

Análisis solicitado por Sr. Geovanny Ordoñez.

Tipo de muestras: Laminas de bioplástico de almidón de yuca de 5x5cm.

Localidad: Riobamba.

### TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

EVALUACIÓN DEL USO DE LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA DE ONDA CORTA (UV-C) COMO MÉTODO DE ESTERILIZACIÓN DE BIOPLÁSTICOS.

Determinaciones	Unidades	*Métodos de análisis	Resultados
Mohos	UFC/25 cm <sup>2</sup>	Siembra en masa	< 10
Levaduras	UFC/25 cm <sup>2</sup>	Siembra en masa	< 10

Atentamente.

Dra. Gina Álvarez R.

RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.



SERVICIO DE SERVICIOS ANALÍTICOS  
QUÍMICOS Y MICROBIOS EN AGUA Y ALIMENTOS

Avenida 9 de Octubre # 12 y Madrid  
Contáctanos: 0998580374 032 942 322  
Saqmic Laboratorio  
Riobamba - Ecuador

## ANEXO X: ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DE LA REPETICIÓN DE PRUEBA.



**ESPOCH**  
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

### INFORME DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Fecha: 30 de noviembre de 2022.

Análisis solicitado por Sr. Geovanny Ordoñez.

Tipo de muestras: Laminas de bioplástico de almidón de yuca de 5x5cm.

Localidad: Riobamba.

### TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

EVALUACIÓN DEL USO DE LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA DE ONDA CORTA (UV-C) COMO MÉTODO DE ESTERILIZACIÓN DE BIOPLÁSTICOS.

### DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS

Muestra	Tamaño lámina Área cm <sup>2</sup>	Dosis radiación aplicada $\frac{J}{m^2}$ .
Testigo	25	0
Tratamiento 1	25	1200
Tratamiento 2	25	6000
Tratamiento 3	25	12000

### Análisis microbiológico

MUESTRAS	$\frac{UFC}{25cm^2}$		
	A	B	C
TESTIGO	20000	78000	46000
TRATAMIENTO 1	1500	1600	800
TRATAMIENTO 2	150	100	<100
TRATAMIENTO 3	<100	<100	<100

Atentamente.

Dra. Gina Álvarez R.

TECNICO DOCENTE RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

**ANEXO Y: RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL AGUA EMPLEADA PARA EL MEDIO DE DEGRADACIÓN DE LAS LÁMINAS DE BIOPLÁSTICO.**

RESULTADOS ANALÍTICOS

ENSAYO	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	MÉTODO /NORMA	VALOR LÍMITE PERMISIBLE	
					TABLA 1	TABLA 2
Color	Pt/Co	<5	±13%	PE-AL-35 Standard Methods Ed.23.2017 2120 C	5	-
Turbidez	UNT	<0,80	±14%	PE-AL-46 EPA 180.1. 2003	1	-
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	<52	±29%	PE-AL-43 Standard Methods Ed.23.2017 2540 C	500	-
*Potencial Hidrógeno a 20°C	Unidades de pH	6,35	±0,2	PE/AL-03 Standard Methods Ed.23.2017 4500 H-B	9,5	-
Cloro Libre Residual	mg/L	<0,10	±18%	PE-AL-19 Standard Methods Ed.23.2017 4500 Cl-G	Ausencia	-
Dureza total	mg/L	<10	±26%	PE-AL-37 Standard Methods Ed.23.2017 2340 C	300	-
*Aerobios Mesófilos	UFC/ml	<1	-	Standard Methods No. 9222 D y 9221	-	25
*Escherichia Coli	UFC/100mL	<1	-	APHA 9222 B	-	0
*Pseudomonas Acuroginosa	UFC/100mL	<1	-	Filtración por membrana	-	0

**OBSERVACIONES:**

- Muestra transportada en refrigeración.
- La columna: Valor límite permisible, está fuera del alcance de la acreditación del SAE; contemplan los límites máximos permisibles establecidos en la NTE INEN 2200:2017 Agua Purificada Envasada. Requisitos Tabla 1: Requisitos físicos del agua purificada envasada o agua purificada mineralizada envasada y Tabla 2: Requisitos microbiológicos para el agua purificada y el agua purificada mineralizada envasada, solicitados por el cliente.
- Los ensayos marcados con (\*) están fuera del alcance de acreditación del SAE.

AUTORIZACION Y RESPONSABLE DEL INFORME:

  
**LABCESTTA**  
 TECNOLOGIA Y CALIDAD  
 INEN 2200:2017

  
**LABCESTTA**  
 TECNOLOGIA Y CALIDAD

Ol. No.027.LABCESTTA.2022

Guayaquil, 07 de Octubre del 2022

**CERTIFICADO**

La empresa LABCESTTA S.A. a través de su departamento ENVIROMENTALSER a petición verbal de la parte interesada tiene a bien certificar que:

La empresa Agualuz de la ciudad de Riobamba, realiza en forma mensual los análisis de Agua, con los siguientes parámetros: Potencial Hidrógeno, Cloro Libre Residual, Color, Turbidez, Dureza total, Sólidos Totales Disueltos, Aerobios Mesófilos, Echericha Coli, Pseudomonas Aeruginosa, mismos que cumplen con la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2200:2017-04, que establece los requisitos que debe cumplir el agua purificada envasada para consumo humano.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Atentamente,

  
**LABCESTTA**  
 TECNOLOGIA Y CALIDAD  
 INEN 2200:2017  
 RUC: 0601936210001  
 LABCESTTA S.A.

# ANEXO Z: RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL CONTENIDO DE AMILOSA DE LA MUESTRA DE ALMIDÓN DE YUCA OBTENIDA.

MC-LSAIA-2201-07



## INFORME DE ENSAYO No: 23-009

<b>**NOMBRE PETICIONARIO:</b>	Sr. Geovanny Ordoñez	<b>**INSTITUCIÓN:</b>	Particular
<b>**DIRECCIÓN:</b>	Riobamba	<b>**ATENCIÓN:</b>	Sr. Geovanny Ordoñez
<b>FECHA DE EMISIÓN:</b>	20/01/2023	<b>FECHA DE RECEPCIÓN.:</b>	11/01/2023
<b>FECHA DE ANÁLISIS:</b>	Del 11 al 20 de enero del 2023	<b>HORA DE RECEPCIÓN:</b>	9h32
		<b>ANÁLISIS SOLICITADO:</b>	Amilosa

ANÁLISIS	HUMEDAD	AMILOSA <sup>Ω</sup>	**IDENTIFICACIÓN
MÉTODO	MO-LSAIA-01.01	MO-LSAIA-04	
METODO REF.	U. FLORIDA 1970	Morrison y Laignelet 1983	
UNIDAD	%	%	
23-0109	8,11	39,83	Almidón de yuca

Los ensayos marcados con Ω se reportan en base seca.

OBSERVACIONES: Muestra entregada por el cliente



**Dr. MSc. Iván Samaniego**  
RESPONSABLE TÉCNICO

### RESPONSABLES DEL INFORME



**Quím. Verónica Arias**  
ANALISTA DE LABORATORIO

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.

Los resultados arriba indicados solo están relacionados con el objeto de ensayo

**NOTA DE DESCARGO:** La información contenida en este informe de ensayo es de carácter confidencial, está dirigida únicamente al destinatario de la misma y solo podrá ser usada por este. Si el lector de este correo electrónico o fax no es el destinatario del mismo, se le notifica que cualquier copia o distribución de este se encuentra totalmente prohibido. Si usted ha recibido este informe de ensayo por error, por favor notifique inmediatamente al remitente por este mismo medio y elimine la información. La información entregada por el cliente y generada durante las actividades de laboratorio es de carácter confidencial, esta dirigida únicamente al destinatario de la misma y solo puede ser usada por este. Los datos marcados con \*\* son suministrados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza por esta información.



epoch

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: 30 / 05 / 2023

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Geovanny Alexander Ordoñez Baño
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Ciencias
<b>Carrera:</b> Ingeniería Química
<b>Título a optar:</b> Ingeniero Químico
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo

0870-DBRA-UPT-2023

X  
DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS  
Y RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE  
Y LA INVESTIGACIÓN  
Ing. Jhonatan Parreño Uquillas MBA  
DBRA 1 ANALISTA DE BIBLIOTECA 1