UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

(Creada por Ley N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

TESIS

BIODEGRADACIÓN DEL POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD (LPDE) CON *Staphylococcus sp* AISLADO DEL BOTADERO DE ASCENSIÓN - HUANCAVELICA

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS

PRESENTADO POR:

Bach. AROTOMA ORE, Freddy

Bach. APACCLLA CASTRO, Alex

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO AMBIENTAL Y SANITARIO

HUANCAVELICA, PERÚ
2021

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA

ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE TESIS

En la ciudad de Huancavelica, a los cinco días (05) del mes de octubre del año 2021, siendo las diecisiete horas (17:00), se reunieron los miembros del Jurado Calificador conformado por los docentes: Mg. Pedro Antonio Palomino Pastrana (Presidente), Mg. Cesar Castañeda Campos (Secretario), M.Sc. Mabel Yesica Escobar Soldevilla (Asesora), designados con Resolución de Decano Nº 177-2021-FCI-UNH, de fecha 03 de agosto del 2021, a fin de proceder con la sustentación y calificación virtual mediante el aplicativo MEET del informe final de tesis titulado: **"BIODEGRADACIÓN DEL POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD (LPDE) CON *Staphylococcus sp* AISLADOS DEL BOTADERO DE ASCENSIÓN-HUANCAVELICA"**, presentado por los Bachilleres **Alex APACCLLA CASTRO y Freddy AROTOMA ORE,** para optar el **Título Profesional de Ingeniero Ambiental y Sanitaria**. Finalizada la sustentación virtual a horas 7:30 pm.:; se comunicó a las sustentantes y al público en general que los Miembros del Jurado abandonará el aula virtual para deliberar el resultado:

Alex APACCLLA CASTRO

APROBADO [X] POR .UNANIMIDAD.

DESAPROBADO [ ]

Freddy AROTOMA ORE

APROBADO [X] POR ..UNANIMIDAD.

DESAPROBADO [ ]

En señal de conformidad, firmamos a continuación:

Presidente

Secretario

Asesora

V° B° Decano

TÍTULO

"BIODEGRADACIÓN DEL POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD (LPDE) CON *Staphylococcus sp* AISLADO DEL BOTADERO DE ASCENSIÓN - HUANCAVELICA"

Autores
Bach. AROTOMA ORE FREDDY
Bach. APACCLLA CASTRO ALEX

Asesor

M. Sc. MABEL YESICA ESCOBAR SOLDEVILLA

Dedicatoria

El presente trabajo de tesis, está dedicado en primer lugar a Dios, y en segundo lugar a nuestros asesores: Dr. José Eduardo Saldaña Diaz, (que en paz descanse) y la M.Sc. Mabel Yesica Escobar Soldevilla por habernos apoyado incondicionalmente en el proceso de ejecución del proyecto y manejo logístico.

Este trabajo de investigación lo dedico a mi madre Inocencia Ore Salazar, mi padre Julio Arotoma Pillpa y a mi hija Camila Dafne Arotoma Vergara y todos mis familiares, pilares fundamentales en mi vida. Mi madre por su apoyo incondicional, coraje y sacrificio en cada etapa de mi formación personal y profesional, y a todos mis docentes que me brindaron sus conocimientos en formación académica.

Bach. FREDDY AROTOMA ORE

Este trabajo de investigación lo dedico a mi madre Marcelina Castro Espinoza, mi padre Juan de Dios Apacclla Saravia y hermanos que son los pilares fundamentales de mi vida, por el apoyo y sacrificio incondicional en mi formación personal y profesional, así también a todos mis docentes por impartir sus conocimientos en mi formación académica.

Bach. ALEX APACCLLA CASTRO

Agradecimiento

Agradecemos a Dios por iluminarnos el camino a seguir, siempre cuidándonos, por ser la fortaleza, y el cuidado en los momentos de debilidad y cuidarnos en esta pandemia que nuestra ciudad y al mundo que aqueja y por brindarnos la vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo la felicidad.

A la Universidad Nacional de Huancavelica a través del Vicerrectorado de Investigación por habernos financiado mediante el Programa Presupuestal 066 para la realización de esta investigación, también agradecemos a nuestros asesores y docentes del proyecto: Dr. José Eduardo Saldaña Diaz, Dr. Víctor Guillermo Sánchez Araujo, M.Sc. Mabel Yesica Escobar Soldevilla, Ing. Julio Daniel Enrriquez Quispe e Ing. Julio Cesar Castañeda Dueñas por el apoyo incondicional en el Laboratorio Central de la Universidad Nacional de Huancavelica por los conocimientos impartidos sobre el tema.

A nuestros padres y hermanos por ser parte del desarrollo esencial e importante de nuestra vida y representar los pilares de nuestra formación personal como académica, logrando llenar nuestra vida de aprendizajes, alegrías y amor en los momentos de dificultad.

Y finalmente, a todos los profesionales y amistades que hicieron posible realizar la presente tesis.

Tabla de contenidos

Acta de sustentación ii
Autores iv
Asesor v
Dedicatoria vi
Agradecimiento vii
Tabla de contenidos viii
Índice de tablas xi
Índice de figuras xii
Resumen xiv
Abstract xv
Introducción xvi
CAPÍTULO I:
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 17
1.1. Planteamiento del problema 17
1.2. Formulación de problemas 21
1.2.1. Formulación del problema general 21
1.2.2. Formulación del problema específicos 21
1.3. Objetivos: general y específico 21
1.3.1 Objetivo general 21
1.3.2 Objetivos específicos 22
1.4. Justificación 22
1.4.1. Justificación ambiental 22
1.4.2. Justificación académica 23
1.4.3. Justificación social 23
CAPÍTULO II:
MARCO TEÓRICO 25
2.1. Antecedentes 25
2.2. Bases teóricas 35
2.2.1. Teoría de Karl Marx 35
2.2.2. Teoría de la biodegradación 36
2.2.3. Teoría de la bacteria 38
2.2.4. Teoría del polímero 40
2.2.5. Polietileno (PE) 42
2.3. Hipótesis 43
2.4. Identificación de variables 43
2.4.1. Variable independiente 43

2.4.2. Variable dependiente 44
2.5. Alcances y limitaciones 44
2.5.1. Alcances 44
2.5.2. Limitaciones 44
CAPÍTULO III:
MATERIALES Y MÉTODOS 46
3.1. Ámbito temporal y espacial 46
3.2. Tipo de investigación 49
3.3. Nivel de investigación 50
3.4. Método de investigación 50
3.5. Diseño de investigación 50
3.6. Población, muestra, muestreo 50
3.6.1. Muestra no probabilística 50
3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos 51
3.6.1. Recolección de datos 51
3.7.1. Procesamiento de la información 53
3.8. Ámbito de estudio 53
CAPÍTULO IV:
DISCUSIÓN DE RESULTADOS 54
4.1 Resultados 54
4.1.1 Resultados de la biodegradación del polietileno de baja densidad (LPDE) 54
4.2 Presentación de resultados 56
4.2.1 Resultados de la biodegradación del polietileno 56
4.3 Prueba de normalidad 59
4.3.1 Test de normalidad para biodegradación de polietileno de baja densidad (LPDE) con la bacteria *Staphylococcus sp* 59
4.4 Prueba de hipótesis 60
4.4.1 Formulación de hipótesis estadísticas 61
4.4.2 Nivel de significación 61
4.4.3 Estadístico de prueba 61
4.4.4 Valor crítico y regla de decisión 61
4.4.5 Cálculo de los estadígrafos de prueba análisis de varianza (ANOVA) para la bacteria *Staphylococcus sp* aislado del botadero de Ascensión - Huancavelica degrada el polietileno de baja densidad (LPDE) 62
4.4.6 Pruebas de medias de Tukey para la biodegradación de polietileno de baja densidad (LPDE) 63
4.4.7 Decisión estadística hipótesis 64
4.5 Campana de Gauss 64
DISCUSIÓN 66

CONCLUSIONES **68**

RECOMENDACIONES **69**

BIBLIOGRAFÍA **70**

Glosario de términos **76**

Cuadro figura y planos fotografía **78**

Análisis estadístico prueba de normalidad de los datos de biodegradación del polietileno de baja densidad (LPDE) **99**

Análisis estadístico prueba de normalidad de los datos de biodegradación del polietileno de baja densidad (LPDE) **99**

Análisis estadístico ANOVA para determinar la biodegradación del polietileno de baja densidad **104**

Anexos. - MATRIZ DE CONSISTENCIA: BIODEGRADACIÓN DEL POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD (LPDE) CON *Staphylococcus sp* AISLADO DEL BOTADERO DE ASCENSIÓN- HUANCAVELICA **118**

Índice de tablas

Tabla 1 ***Sistema de variable independiente*** **.....43**
Tabla 2 ***Sistema de variable dependiente*** **.....44**
Tabla 3 ***Ubicación geográfica del botadero de Ascensión*** **.....46**
Tabla 4 ***Ubicación geográfica del Laboratorio de Microbiología*** **.....48**
Tabla 5 ***Lugar de recolección de muestras*** **.....51**
Tabla 6 ***Aislamiento de la bacteria*** **.....52**
Tabla 7 ***Datos antes de la biodegradación del polietileno de baja densidad*** **.....52**
Tabla 8 ***Biodegradación del polietileno de baja densidad (LPDE)*** **.....54**
Tabla 9 ***Porcentaje de biodegradación del polietileno de baja densidad (LPDE)*** **.....55**
Tabla 10 ***Prueba de Tukey de los valores de biodegradación de polietileno*** **.....57**
Tabla 11 ***Test de normalidad para biodegradación de polietileno*** **.....59**
Tabla 12 ***Análisis de varianza (ANOVA) para biodegradación de polietileno*** **.....62**
Tabla 13 ***Prueba de medias de Tukey*** **.....63**

Índice de figuras

Figura 1 ***Biodegradación del polímero*** **37**
Figura 2 ***Ubicación geopolítica del botadero de Ascensión*** **47**
Figura 3 ***Ubicación geográfica del botadero con vista espacial*** **47**
Figura 4 ***Ubicación geográfica del botadero de Ascensión*** **48**
Figura 5 ***Ubicación geográfica del laboratorio de microbiología*** **49**
Figura 6 ***Técnica de MacFarland 2 utilizada en los tubos de ensayo*** **51**
Figura 7 ***Diagrama de capacidades de la biodegradación (LPDE)*** **56**
Figura 8 Gráfico caja y bigote **56**
Figura 9 ***Diagrama de capacidad de 37 °C*** **57**
Figura 10 ***Diagrama de capacidad de 20 °C*** **58**
Figura 11 ***Diagrama de capacidad de 15 °C*** **58**
Figura 12 ***Distribución y probabilidad de la biodegradación LPDE*** **60**
Figura 13 ***Campana de Gauss*** **65**
Figura 14 ***Vista del perímetro del botadero de Ascensión*** **78**
Figura 15 ***Disposición final de residuos sólidos en el botadero*** **78**
Figura 16 ***LPDE en estado de degradación (punto de recolección N° 1)*** **78**
Figura 17 ***LPDE en estado de degradación (punto de recolección N° 2)*** **79**
Figura 18 ***LPDE en estado de degradación (punto de recolección N° 3)*** **80**
Figura 19 LPDE en estado de degradación (punto de recolección N° 4) **80**
Figura 20 ***LPDE en estado de degradación (punto de recolección N° 5)*** **81**
Figura 21 ***LPDE en estado de degradación (punto de recolección N° 6)*** **81**
Figura 22 ***LPDE en estado de degradación (punto de recolección N° 7)*** **82**
Figura 23 ***LPDE en estado de degradación (punto de recolección N° 8)*** **82**
Figura 24 ***Recolección de polietilenos de baja densidad en aparente estado de degradación*** **83**
Figura 25 ***Investigadores con los equipos de protección personal en el área de estudio*** **83**
Figura 26 ***Investigadores con los equipos de protección personal en el área de estudio*** **84**
Figura 27 ***Polietilenos en aparente estado de biodegradación en el botadero de Ascensión*** .. **84**
Figura 28 ***Se selecciona los polietilenos en estado degradación*** **85**
Figura 29 ***Laboratorio central de la Universidad Nacional de Huancavelica*** **85**
Figura 30 ***Desinfección de área de trabajo en el Laboratorio Central*** **86**
Figura 31 ***Polietileno de baja densidad en agua destilada estéril*** **86**
Figura 32 ***Vertido del medio de cultivo agar Manitol Salado en matraz de Erlenmeyer*** **87**
Figura 33 ***Probeta de 500 ml de agua destilada para la preparación de agar Manitol Salado*** **87**
Figura 34 Tubos de ensayo en secado natural **88**
Figura 35 ***Esterilización de placas petri (cubiertos por papel) en el horno*** **88**
Figura 36 ***Preparación de caldo de cultivo con el docente especialista Microbiólogo*** **89**
Figura 37 ***Preparación de caldo de cultivo por los tesistas*** **89**
Figura 38 ***Preparación de caldo de nutriente para la siembra en agar Manitol Salado*** **90**
Figura 39 ***Incubación de Staphylococcus sp en agar Manitol Salado durante 48 horas*** **90**
Figura 40 ***Crecimiento de bacterias Staphylococcus sp durante 48 horas*** **91**
Figura 41 ***Extracción de Staphylococcus sp para la siembra selectiva en tubos de ensayo*** **91**
Figura 42 ***Siembra selectiva en tubos de ensayo con agar Manitol Salado*** **92**
Figura 43 ***Tubos de ensayo con agar Manitol Salado para la siembra de Staphylococcus sp*** **92**
Figura 44 ***Extracción de Staphylococcus sp para la siembra selectiva*** **93**
Figura 45 ***Siembra en forma inclinada con la técnica de siembra por estría ondulada*** **93**
Figura 46 Siembra en los tubos por estría ondulada **94**
Figura 47 ***Tubos de ensayo con Staphylococcus sp en medio solido*** **94**
Figura 48 ***Esterilización de aza de siembra y extracción de Staphylococcus sp*** **95**
Figura 49 ***Esterilización de aza bacteriológica*** **95**
Figura 50 ***Extracción de la bacteria*** **96**

Figura 51 ***Colonias de Staphylococcus sp*** **96**
Figura 52 Turbidez de McFarland **97**
Figura 53 ***Disolución de las bacterias*** **97**
Figura 54 ***Turbidez de McFarland de las bacterias*** **98**

Resumen

En la presente investigación se describe el aislamiento y la actividad biodegradativa del microorganismo sobre el polietileno de baja densidad (LPDE), teniendo como objetivo determinar la degradación del polietileno de baja densidad por *Staphylococcus sp* las bacterias fueron aisladas de LPDE con evidencias de deterioro procedentes del botadero de Ascensión - Huancavelica. La recolección de muestras se realizó mediante la observación, se utilizó frascos de 250 ml estéril, transportando asépticamente. Las muestras fueron homogenizadas en agua destilada, se aisló cepas de *Staphylococcus sp* en medio de cultivo agar Manitol Salado. La prueba cuantitativa del *Staphylococcus sp* para las muestras se realizó por McFarland N° 2. El periodo de degradación del (LPDE) fueron 90 días en tres estufas de convección simple a temperaturas de (37, 20 y 15 °C). De acuerdo a los resultados se observa la biodegradación del (LPDE) por la bacteria *Staphylococcus sp*. a una temperatura de 37 °C una degradación de 2.16 %, a una temperatura de 20 °C una degradación de 0.52 % y finalmente a una temperatura de 15 °C una degradación de 0.29 %. Lo que significa que a temperatura de 37°C el *Staphylococcus sp* es más eficiente en cuanto a la biodegradación y a 15 °C es menos eficiente.

***Palabras claves*:** Polietileno, biodegradación, bacteria, plásticos, temperatura.

Abstract

The present investigation describes the isolation and biodegradative activity of the microorganism on low-density polyethylene (LPDE), with the objective of determining the degradation of low-density polyethylene by *Staphylococcus sp*. The bacteria were isolated from LPDE with evidence of deterioration from the Ascensión - Huancavelica landfill. The collection of samples was carried out by observation, a sterile 250 ml bottle was used, transporting aseptically. The samples were homogenized in distilled water. *Staphylococcus sp* strains were isolated in Salty Mannitol agar culture medium. The quantitative test of *Staphylococcus sp* for the samples was performed by MacFarland N°2 . The degradation period of (LPDE) was 90 days in three simple convection ovens at temperatures of (37, 20 and 15 ° C). According to the results, the biodegradation of (LPDE) by the bacteria *Staphylococcus sp*. Is observed at a temperature of 37 ° C, a degradation of 2.16 %, at a temperature of 20 ° C, a degradation of 0.52% and finally at a temperature of 15 ° C a degradation of 0.29 %, which means that at a temperature of 37 ° C *Staphylococcus sp* is more efficient in terms of biodegradation and at 15 ° C it is less efficient.

Keys words: Polyethylene, biodegradation, bacteria, plastics, temperature.

Introducción

La acumulación de los residuos plásticos en el ambiente ha contaminado diversos ecosistemas de la biosfera, siendo uno de los materiales con propiedades flexibles, se ha convertido en el material moderno preferido de fabricación por las industrias de nuestra actualidad, son más fáciles de producir y más difíciles de desaparecer volviéndose indispensable para nuestra vida. Cerca del 75% del plástico generado por la pandemia de COVID-19 como plásticos, mascarillas, guantes y botellas de desinfectante para manos se han convertido en desechos que llegan al ambiente. Aunque las medidas de confinamiento alrededor del mundo han generado una dramática caída del 5% de las emisiones de gases de efecto invernadero, el aumento de los desechos plásticos han aumento alrededor del mundo teniendo un impacto negativo en la naturaleza (Echeverr et al., 2020). La investigación frente al problema de los plásticos en el ambiente va dirigido a la búsqueda de alternativas de degradación con microorganismos, para controlar la contaminación por plástico, como se ha visto la gran efectividad que tienen las bacterias al biodegradar de manera muy eficiente del polietileno de baja densidad (Archana Y Martín 2017).

La presente investigación estudió y evaluó la degradación del polietileno de baja densidad (LPDE) por *Staphylococcus sp* en condiciones controladas, para aumentar los conocimientos sobre el manejo y disposición final de los residuos plásticos en los botaderos, que dependiendo de la tipología y tamaño de cada plástico tarda entre 100 y 1.000 años en descomponerse. Peor es el caso de los plásticos que se disponen hacia al mar, que además de acabar con la vida de muchos animales, su tiempo de descomposición es mayor que si estuviera en tierra firme (Bilbao, 2015).

CAPÍTULO I:
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema.

El polietileno o como llamamos plástico es un material derivado residual de la celulosa, carbón o petróleo, este material posee características flexibles es por ello que las industrias modernas fabrican descontroladamente diferentes materiales de un solo uso. Es por este motivo que en la actualidad se ha vuelto muy indispensable en nuestra vida por lo que lo podemos encontrar en todas partes. Este material plástico es fácil de producir y muy resistente a desaparecer, y más aun estando en el ambiente generando así una contaminación ambiental por todas partes del mundo generando un problema global muy serio. Según Litterthub (2019) esto afecta desde las profundidades de los océanos que es donde más concentración y problemas genera, también se les puede encontrar en los bosques más remotos, incluso en el ártico como los andes. Nuestra manera de utilizar el plástico el de usar y tirar está destruyendo el medio ambiente que nos rodea. Se producen inmensas cantidades de plástico de un solo uso que su reciclaje es imposible, muchos de los plásticos van a parar en los botaderos ilegales si no es el ambiente o en un relleno sanitario. El plástico es uno de los materiales que no se puede degradar por sí solo por lo que perdura por muchos años. Una vez en el medio ambiente, el plástico actúa como un absorbente de otras sustancias químicas tóxicas, haciendo aún más nocivas, una vez que el plástico se descompone en micropartículas, se crea una contaminación que se extiende con los fenómenos meteorológicos entrando así en la cadena alimenticia mediante su ingesta por la fauna y llegando así a la ingesta del ser humano (Goodenough, 2003).

La fabricación de polímeros en los últimos años se ha acelerado progresivamente, las personas se han vuelto muy dependientes del plástico, necesitamos de policarbonato, acrílico, polipropileno, tereftalato de polietileno, poliestireno, polietileno de alta densidad y polietileno de baja densidad, materiales utilizados en el desarrollo de nuestras actividades diarias, dándole uso en envases de alimentos, textiles, prendas de vestir, plásticas y sintéticas, materiales de construcción y diversos artículos de plástico. Niklas Hagelberg, coordinador de

las Naciones Unidades en el subprograma de investigación para el cambio climático, y profesor investigador en la Universidad de Hawái, estima que se han producido más de 8 mil millones de toneladas de plástico virgen desde 1950. Se espera que los niveles actuales de producción anual se dupliquen en los próximos 20 años. (Gutiérrez, 2019)

Los residuos plásticos que ha dejado el confinamiento en todas partes del mundo como las mascarillas desechables de un solo uso, guantes látex, envases de productos desinfectantes que nos protegieron de la propagación han terminado en calles, mares y la naturaleza a comparación del antes de la pandemia estos residuos permanecían menos tiempo en el ambiente sin embargo, ahora por la pandemia existe mucho temor por el contagio que los residuos permanecen mucho más tiempo así como también los plásticos de los diferentes productos, que por su seguridad lo cubren con más plástico aumentando así el desecho en parques, aceras, carreteras. Este problema afectó a todo el planeta llegando incluso han llegado hasta las deshabitadas islas Soko, a pocos kilómetros de Hong Kong, China. Gary Stokes, del grupo conservacionista Oceans Asia, encontró unas 100 mascarillas durante tres visitas realizadas a la playa. Gran parte de la población estos materiales de protección personal lo tiran con tanta libertad como cualquier otro residuo sólido, haciéndolo más propenso a ser arrastrados por los vientos por su ligereza expandiendo su impacto en el ambiente, esto es muy perjudicial para los seres vivos (Apostolou, 2020).

Para la reactivación frente al problema de contagio que trajo la pandemia COVID-19 en los países fue necesario la utilización de plástico de un solo uso en los diferentes productos como la comida y otros materiales que se necesitaban en el hogar desde artículos de limpieza por lo que se desechaba inmediatamente después de utilizarlos por lo que se hicieron uso de estos materiales plásticos pese a su prohibición del estado peruano, por lo que la contaminación de este material fue inevitable por las ciudadanos, para el transporte de cualquier material o el traslado se utilizó los plásticos de un solo uso aumentando la demanda en muchos de los mercados. Cabe señalar que, la Ley N°30884 entró en vigencia en diciembre de 2018 (Ley que regula el plástico de un solo uso y los recipientes o envases descartables). A más de un año de entrar en vigencia, el uso de mascarillas, guantes, batas y otros equipos de protección personal (EPP), además de envases y

bolsas descartables, entre otras medidas sanitarias aplicadas a fin de evitar el contagio con el COVID- 19, ha implicado a un incremento del consumo excesivo de los derivados del plástico, en mayor cantidad los de un solo uso. Si bien tal situación en el sector salud resulta necesaria, debido a su implicancia en la atención de casos con confirmación de contagio o sospecha del mismo, desde la defensoría del pueblo, se sostiene la necesidad de que la población continúe con medidas preventivas que no contravengan el principio de sostenibilidad por lo que los residuos se incrementaron en gran cantidad (Bocanegra, 2020).

En 2018 se produjeron en todo el mundo 359 millones de toneladas de plásticos, el 3,16 % más que en 2017. Sin embargo, en Europa, la producción de plásticos bajó un 4,20 %. La producción de plásticos sigue en aumento, según recoge el último informe Plastics the Facts 2019, dado a conocer el año 2018 por Plastics Europe en la feria K2019 de Düsseldorf. Concretamente, el pasado ejercicio se produjeron en todo el mundo 359 millones de toneladas, de esta cifra, 61,8 se produjeron en el continente europeo. Los datos de crecimiento de la producción a nivel mundial 359 millones de toneladas frente a 348 millones, el 3,16 % más, contrastan con las cifras correspondientes a Europa. En Latinoamérica la producción de materias primas plásticas se redujo un 4,20 % al pasar de los 64,4 millones de toneladas de 2017 a los 61,8 millones del año anterior. A nivel geográfico, en Asia se concentra el 51 % de la producción mundial de plásticos, destacando China con el 30 % del total. Tras Asia se sitúa la región NAFTA, con el 18 %; seguida muy de cerca por Europa, con el 17 %. En 2018, la región de Oriente Medio y África concentró el 7 % de la producción mundial de plásticos. Latinoamérica ha producido el 4 % de todos los plásticos a nivel mundial, y los países del área CIS, el 3 %. Por lo que respecta a la industria europea productora de materias primas plásticas, tuvo a los EE.UU. como su principal socio comercial (MundoPlast, 2018).

La investigación realizada por Herri Mason, profesora de química en la universidad de Nueva York dieron a conocer datos alarmantes de micro plásticos encontrados en casi todas las botellas de agua que tuvieron de estudio. De los 250 botellas compradas en nueve países diferentes, se examinaron y se encontró un promedio de 10 partículas de plástico por litro, cada una más grande que el ancho de un cabello humano, según la investigación dirigida por la organización de

periodismo Orb Media cuyas pruebas se realizaron en la Universidad Estatal de Nueva York, Estados Unidos Shukman (2018), También se han encontrado restos de plástico en la sal marina, el agua potable o incluso en la cerveza, millones de toneladas de plástico llegan cada año a nuestros océanos y a menos que frenemos este flujo de residuos plásticos desde su origen, nos encontraremos en un punto sin retorno a nivel planetario (Goodenough, 2003).

La economía proporciona un plan de acción y una nueva forma de pensar acerca de cómo fabricamos, usamos y reutilizamos el plástico en alineación con los principios de la economía circular, barato, ligero y versátil, los plásticos son los materiales que más dominan en nuestra economía actual, sin embargo, los envases de plástico se recolectan para su reciclaje después del uso y grandes cantidades escapan al medio ambiente, esto no solo da como resultado una pérdida de USD 80 a 120 mil millones por año, sino que, si continúa la tendencia actual, podría haber más plástico que pescado (en peso) en el océano para el 2050 (Macarthur, 2018).

Un estudio de la Universidad de Newcastle, Australia, advierte que en promedio una persona ingiere semanalmente unos 5,0 gramos de plástico presentes en el agua, el aire y en alimentos. La cantidad equivale a los microplásticos que contiene una tarjeta de crédito, La ingestión de plásticos es solo una parte de un problema mucho mayor con consecuencias ambientales y económicas muy significativas. La contaminación por plásticos es una amenaza muy latente para la vida silvestre, no solo por la ingestión de microplásticos sino por el enmarañamiento e incrustación de animales marinos en plásticos más grandes o por la destrucción de sus hábitats en medios marinos. El plástico está afectando ecosistemas enteros, y puede conducir al colapso de sistemas sobre los cuales se basa el bienestar de las personas. La contaminación por plásticos tiene consecuencias económicas importantes (Wijnand & Bigaud, 2019).

La ciudad de Huancavelica no es ajeno al problema por la presencia de plástico por donde veas se puede observar plásticos de uso común, en el rio, campus universitario, calles, áreas verdes etc. pero el problema viene cuando se encuentra en lugares donde la fauna y flora silvestre se encuentran. Bajo la siguiente premisa, se considera que los plásticos son empleados diariamente en bien del desarrollo, también es muy necesario considerar los impactos que generan

al medio ambiente, no obstante, empresas debidamente capacitadas para realizar el manejo, reciclaje y reutilización de los polietilenos producidos en la ciudad de Huancavelica no existen. Asimismo, es necesario resaltar que en la ciudad de Huancavelica no existe ningún estudio desarrollado acerca del manejo, reutilización, reciclaje o destrucción de polietilenos de baja densidad; por lo que es necesario buscar soluciones prácticas, que puedan reducir los niveles de contaminación producidos por los plásticos

Frente al problema actual que no solo la ciudad de Huancavelica, sino que el problema es a nivel mundial por la persistencia del polietileno en el tiempo surge la necesidad de buscar técnicas de eliminar el plástico del ambiente, que se ajusten a las necesidades de nuestra población de ahí la importancia de degradar el polietileno de baja densidad (LPDE) mediante la bacteria *Staphylococcus sp.*

1.2. Formulación de problemas

1.2.1. Formulación del problema general

¿Cómo influyen las temperaturas en la degradación del polietileno de baja densidad (LPDE) con *Staphylococcus sp* aislado del botadero de Ascensión - Huancavelica?

1.2.2. Formulación del problema específicos

- ¿A qué temperatura el *Staphylococcus sp* aislado del botadero de Ascensión realiza mayor porcentaje de degradación del polietileno de baja densidad (LPDE)?
- ¿A qué temperatura el *Staphylococcus sp* aislado del botadero de Ascensión realiza menor porcentaje de degradación del polietileno de baja densidad (LPDE)?

1.3. Objetivos: general y específico

1.3.1 Objetivo general

Determinar el porcentaje de degradación del polietileno de baja densidad (LPDE) por *Staphylococcus sp* aislado del botadero Ascensión - Huancavelica.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar a qué temperaturas se realiza mayor degradación del polietileno de baja densidad (LPDE) por la bacteria *Staphylococcus sp* aislado del botadero Ascensión –Huancavelica.

- Determinar a qué temperaturas se realiza menor degradación del polietileno de baja densidad (LPDE) por la bacteria *Staphylococcus sp* aislado del botadero Ascensión –Huancavelica.

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación ambiental

El desarrollo de esta investigación se justifica en la necesidad de disminuir la contaminación ambiental por el polietileno de baja densidad y la necesidad de la implementación de propuestas tecnológicas para la degradación del polietileno de baja densidad y de esta manera se pueda economizar, reducir y/o mitigar la contaminación ambiental por residuos de polietileno de baja densidad (LPDE).

El grado de contaminación emitido por el hombre, considerando el impacto negativo que se repercute en el medio ambiente; y en ciudades donde no se le da la importancia debida, y no se tiene implementado un sistema de reciclaje efectivo, y una cultura de reducción de uso de plásticos en muchas ciudades, son algunos motivos que impulsan a realizar la presente investigación con la finalidad de encontrar soluciones que conllevan a la reducción de la contaminación ambiental, mediante el uso de las bacterias biodegradadoras del polietileno de baja densidad (LPDE).

El plástico es uno de los materiales que más usamos en nuestra vida diaria pero también es uno de los que más tarda en descomponerse. Cada día el consumo de plástico crece más hasta llegar a millones de toneladas y son muchos los que desconocen la cantidad de años que tarda en descomponerse pese a su esfuerzo del estado por promulgar leyes la situación no ha cambiado. Su desintegración es muy lenta, lo que hace que sea un material tremendamente contaminante para el planeta. Dependiendo de la tipología y tamaño de cada plástico tarda entre 100 y 1.000 años en descomponerse. Peor es el caso de los plásticos que se tiran al mar, que además de acabar con la vida de muchos animales, su tiempo de descomposición es mayor que si estuviera en tierra firme. El mar es una zona muy

afectada por la invasión de los plásticos. Las partículas flotantes de plástico se asemejan al zooplancton, lo que ocasiona que estos desechos acaben en los estómagos de las aves y animales marinos, siendo estos un gran riesgo para la vida marina. Varias investigaciones han demostrado que estos residuos afectan aproximadamente a 270 especies en todo el mundo (Bilbao, 2015)**.**

1.4.2. Justificación académica

Esta investigación se basa en determinar la temperatura ideal para la degradación del polietileno de baja densidad y permitan realizar próximas investigaciones y los datos serán tomadas para el diseño plantas de biodegradación. El principal motivo de la investigación sobre la biodegradación del plástico es por sus residuos que se quedan en el ambiente ya que tardan entre 100 y 1.000 años en degradarse. Además, el reciclar es nuevo para la humanidad, no estamos lejos de consumir menos cantidades de materias primas y de recursos naturales sin contaminantes, directa e indirectamente lo estamos agotando por todos los medios, y su acumulación supone un grave problema para el planeta. Las imágenes de la isla de plásticos en el Pacífico, casi dos billones de piezas de plástico (que equivale a un área similar a Francia, España y Alemania juntas) flotando en el océano son difíciles de olvidar. A ello se suma que se han hallado partículas minúsculas de plástico – fibras, fragmentos o microperlas en el interior de especies de agua dulce y salada, tanto salvajes como de acuicultura, y más de la mitad de ellas son habituales en nuestra dieta. Diversos estudios señalan que una persona puede ingerir más de 100 partículas de microplástico en cada comida. Y aunque todavía no se conocen los efectos, todo apunta a que esa ingesta puede suponer un riesgo para la salud humana (Redes, 2019).

1.4.3. Justificación social

La investigación realizada nos dará a conocer la temperatura ideal y de esta manera se puede implementar una planta biodegradadora cumpliendo con la temperatura adecuada y se disminuirá la contaminación de los ecosistemas contiguos evitándose conflictos socio-ambientales entre la población y los residuos de polietileno.

La sociedad de consumo del plástico de un solo uso que hemos creado hoy en día, nos está llevando a un problema medio ambiental bastante grave y con el tiempo se va complicando más y más, uno de los mayores problemas que

tenemos en la actualidad es la cantidad de residuos plásticos que generamos, producimos más kilogramos de plástico en los últimos diez años que en todo el siglo XX y como buena sociedad de consumo el 50 % de los productos y envases de plástico que utilizamos sólo tendrán un uso, antes de terminar en un vertedero o en un sitio peor, como los que vamos a ver a continuación , solo una mínima parte de ellos se recicla y no forma parte del problema, así que imagina la cantidad de residuos que todavía están en nuestro planeta después de casi un siglo produciendo plástico (Deutsche, 2017).

Con esta pequeña introducción seguro que tienes ganas de saber dónde termina el plástico una vez terminado su uso, descontando esa pequeña parte que se recicla, hablamos de menos de un 10 % de todo lo que se genera anualmente (deberíamos tomar conciencia y empezar a usar menos plástico y si lo usamos, rehusar o reciclar).

Según el (PNUMA) la contaminación plástica está presente en todas partes, desde las playas de Indonesia hasta en el fondo del océano en el Polo Norte y está ascendiendo por la cadena alimenticia hasta llegar a nuestras mesas. Según el artículo de (Nuestra Esfera) el mundo actualmente consume más de un millón de bolsas por minuto. Se tiene calculado que cada persona genera promedio de unos 200 kg al año, dependiendo la zona de desarrollo o del país, como se puede observar la cantidad es muy alta, y dentro de poco el planeta no podrá absorber dicha generación de basura; menos mal que cada día vamos siendo más conscientes y aumenta a ritmo lento el consumo responsable y reciclaje.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Antecedentes internacionales

Archana et al. (2017) realizaron la investigación de "*Aislamiento de bacterias degradadoras de polietileno de la tierra de la basura*" el presente estudio tuvo como objetivo la biodegradación del polietileno por microorganismos aislados del suelo. Metodología. Se aislaron e identificaron en base a la caracterización bioquímica como *Staphylococcus aureus* y *Bacillus cereus*. La biodegradación del polietileno por parte de los microorganismos aislados se probó in vitro tanto en medio nutritivo como en medio mínimo. Pasados los treinta días de incubación, se midió en términos de biodegradación del polietileno en términos de pesos. Muestra. Se utilizaron como muestra las películas de polietileno en estados de desintegración. Resultados. El porcentaje de pérdida de peso por *Staphylococcus aureus* y *Bacillus cereus* en medio nutritivo fue del 32,2 % y del 9 % respectivamente. El porcentaje de pérdida de peso por *Staphylococcus aureus* y *Bacillus cereus* en medio mínimo fue del 57,3 % y 26 % respectivamente. Los resultados muestran que *Staphylococcus aureus* es más activo en la degradación del polietileno que *Bacillus cereus*. Concluyendo que los microorganismos utilizados en la biodegradación utilizaron al polietileno como única fuente de carbono, estas bacterias causaron entre el 30 y el 50 % de la biodegradación de las películas de polietileno siendo el Staphylococcus *aureus* quien tuvo una mayor biodegradación del polietileno de baja densidad.

Divyalakshmi y Subhashini (2016) en el estudio "*Cribado y aislamiento de bacterias que degradan el polietileno en varios ambientes del suelo*" tuvo como objetivo examinar y aislar las bacterias degradantes del polietileno de diversos entornos del suelo, como el suelo de la basura, el suelo de los manglares y el suelo de los jardines. Metodología. Las muestras de plástico se recogieron en el mercado local, el polvo de plástico se recogió en una fábrica de plástico a pequeña escala cerca de Kodungaiyur. Como muestra se recogieron cubiertas de leche usadas, las muestras de suelo se recogieron en cinco lugares diferentes de los manglares de Pitchavaram, el vertedero de Kodungaiyur, el vertedero de Pallikarnai, el vertedero local cerca de Porur y el jardín doméstico tras el tratamiento del suelo.

Se utilizo el método del matraz mezclador que contiene como fuente de carbono en un medio de sales minerales (MSM) y piezas de polietileno pesadas inicialmente. Después de 30 días de incubación en 37 ^{0} C. Resultados. los resultados de la espectroscopia FTIR muestran que las piezas de polietileno se han degradado con cambios en la estructura química entre los tres aislados estudiados en FTIR, *Staphylococcus arletae* mostró mayores cambios en la estructura de la pieza de polietileno en la espectroscopia FTIR registrando una pérdida de peso máxima del 13,6 %. fueron examinados por su capacidad para utilizar el polietileno como única fuente de carbono. Concluyendo que, de estos 12 organismos, 10 mostraron una pérdida de peso en el plástico que oscilaba entre el 4,54 % y el 13,6 % la pérdida de peso muestra que el polietileno se ha degradado. Conclusión. El aislamiento de los genes de las enzimas necesarias para la degradación del plástico podría allanar el camino para las tecnologías de ADN recombinante en las que se pueden desarrollar cepas recombinantes que puedan degradar el plástico en un periodo más corto.

Amoah (2016) realizó la investigación "*Aislamiento y Caracterización de Microbios Degradadores de Polietileno*" tuvo como objetivo aislar y caracterizar los microbios degradantes del polietileno. para la reducción de la contaminación por plásticos. Se utilizó el método inductivo. Muestras. Se recogieron bolsas de polietileno parcialmente degradadas del manglar de Iture, con la ayuda de las pinzas estériles y las muestras se colocaron en las bolsas de polietileno estériles. El polietileno se ató inmediatamente y se llevó al laboratorio para su examen. Obteniendo los resultados. Del aislamiento y caracterización se encontraron cepas de hongos capaces de degradar el polietileno, así como la determinación de las condiciones de pH y temperatura en las que se logran la mayor actividad. Los hongos fueron aislados de productos elaborados con polietileno obtenidos de relleno sanitario, la identificación taxonómica en base a características macroscópicas del crecimiento en placa petri y el estudio microscópico empleando la técnica de micro cultivo en lámina. La actividad biodegradadora se determinó con la técnica de Kavelman y Kendrick, a temperaturas entre 20 y 30 °C y a pH 4,5 8,0. Resultados. Veinte cepas de micromicetos fueron aisladas e identificadas, en 5 (25 %) se evidencio la capacidad de biodegradar el polietileno a 20 °C, siendo

el pH 6,5 el óptimo, la cepa de mayor rendimiento pertenece a la especie de *Aspergillus flavus*. A temperatura de 30 °C, 6 (30 %) cepas evidenciaron actividad degradadora, siendo pH 6,5 el óptimo, la cepa de mayor rendimiento fue la misma del caso anterior. Conclusión. Las placas 2, 3 y 4 muestran los cultivos puros de los hongos aislados. Estos aislados de hongos pueden ser diseñados para aumentar la capacidad de corrupción. Estos parásitos diseñados pueden ser clonados para obtener más duplicados de los seres vivos que pueden ser regados en los vertederos de basura y otros puntos potenciales para la degradación.

Botre et al. (2015) desarrollaron el estudio "*Cribado y aislamiento de bacterias degradadoras de polietileno de diversas fuentes*" que tuvo como objetivo principal aislar y examinar las bacterias que tienen la capacidad de degradar el polietileno de baja densidad (LDPE), que es una de las principales causas de la contaminación ambiental. La metodología utilizada es el método inductivo. Muestras. Las muestras se recogieron en tubos de ensayo estériles, procedentes de diversas fuentes como el compost (CC), el marino (M), los lodos de petróleo (OS), las aguas residuales (S), la muestra de alquitrán (TS) y el suelo contaminado con petróleo (OCS). Polietileno de baja densidad (LDPE) en polvo y láminas de LDPE (proporcionados por Aegis Polymers). De ello se aislaron 20 colonias bacterianas del cribado primario utilizando 0,1% de LDPE como única fuente de carbono en el medio de Agar M9 Hay cierta degradabilidad en las condiciones naturales, pero los microbios también exhiben degradación en condiciones de laboratorio en los medios de cultivo. Resultado. Se encontró que las dos cepas de bacterias M1 y SWG aisladas de fuentes marinas y de aguas residuales, respectivamente, tienen una mayor capacidad de degradar el LDPE y pertenecen al género degradando en un 2.5, y 2.8 % respectivamente. Conclusión. Existe cierta degradabilidad en condiciones naturales, pero los microbios también presentan degradación en condiciones de laboratorio en medios de cultivo. Las dos cepas de bacterias M1 y SWG aisladas de fuentes marinas y de aguas residuales, respectivamente, resultaron tener mayor capacidad para degradar el LDPE y pertenecer al género *Staphylococcus.*

Rajesh et al. (2017) realizaron la investigación "*Aislamiento de bacterias productoras de biosurfactantes a partir de un suelo de basura*". Tuvo como objetivo el aislamiento de biosurfactantes que producen microorganismos del

suelo de basura. La muestra fue extraída del suelo de la basura (sitios con desechos arrojados en bolsas de polietileno y vasos de plástico). La muestra se recogió a una profundidad de 3 a 5 cm, en un recipiente estéril y luego se secó al aire a temperatura ambiente. Resultados. se aislaron e identificaron microorganismos en base a la caracterización bioquímica como *Staphylococcus sp* y *Bacillus cereus*. El análisis cualitativo de la producción de biosurfactante se identificó mediante ensayos como la hemólisis en agar de sangre, el ensayo de penetración y el ensayo de agar C-TAB. El presente estudio confirma que los microorganismos aislados tienen propiedades biosurfactantes. Conclusión. En este estudio, *Staphylococcus sp* y *Bacillus cereus* se identificaron como productores de biosurfactantes y se pueden usar en tecnologías de biorremediación y otros procesos industriales.

Martín (2017) realizó la investigación "*Estudio preliminar de la biodegradación de plásticos por bacterias marinas*" tuvo como objetivo aislar microorganismos potencialmente degradadores de polímeros plásticos. Para ello, se ha utilizado una técnica de enriquecimiento en medio de sales marinas, suplementado con plástico granulado y en láminas, y extracto de levadura a baja concentración en muestras de agua. Muestra. Se utilizaron 5 tipos de polietileno utilizados en la etapa de enriquecimiento (Polietileno tereftalato, PETE; Polietileno de alta densidad, HDPE; Polietileno de baja densidad, LDPE; Poliestireno, PE; Polipropileno, PP) donde se incubaron durante 32 dias. Resultados. La mayor pérdida de peso, después de 32 días de incubación, fue observada en el PETE en un 0, 187 % de pérdida de peso y el LPDE en un 0,299 %. La biodegradación de este plástico, estudiada en medios frescos inoculados a partir de los cultivos de enriquecimiento, no mostró, después de 45 días de incubación, diferencias significativas en la pérdida de peso de las láminas, ni se observaron alteraciones mediante espectroscopía infrarroja transformada de Fourier (FTIR), y microscopía de fuerza atómica (AFM). Así mismo, se detectó una débil actividad biológica asociada a la formación de biopelículas en los cultivos, pero sin diferencias significativas respecto a los controles. Conclusión. La biodegradación de PETE en cultivos incubados durante 45 días, no reveló pérdidas de peso significativas entre los cultivos (-0,2278 %) y sus respectivos controles no inoculados (-0,1291 %). Los análisis cualitativos mediante técnicas espectroscópicas (FTIR) y microscópicas (AFM), tampoco mostraron evidencias de un ataque microbiano relevante, La

formación de biopelículas sobre la superficie de PETE se valoró mediante hidrólisis de DAF, poniéndose de manifiesto una baja actividad.

Pandey (2014) realizó la investigación "*Estudio sobre las bacterias que degradan el polietileno de baja densidad a partir de la basura de polietileno*" tuvo como objetivo aislar los microorganismos degradantes del polietileno encontrado en la basura. Metodología. La identificación de las cepas aisladas se realizó en la base de la morfología de la colonia, también se identificaron en gramos de la naturaleza y varias pruebas bioquímicas. Se recogieron muestras de suelo de basura (vertederos con bolsas y vasos de plástico) en recipientes estériles del vertedero. Se sometieron tiras de polietileno para la biodegradación por bacterias aisladas utilizando sal mineral. Resultados. La degradación fue observada por cambios en característica físicas y ópticas evidenciando la cantidad máxima de degradación de polietileno por método de pérdida de peso se observó por *estafilococo sp* (52 %) y el 11 % de la degradación se encontró por *pseudomonas sp*. Conclusión. Las cepas bacterianas fueron aislada exitosamente a partir de vertederos de polietileno, se identificaron cepas bacterianas aisladas como *E.coli, Staphylococcus sp., Pseudomonas sp., Klebsiella sp. y Bacillus sp* las bacterias aisladas son mutuamente nativos de LDPE, MDPE y HDPE la mayoría de los plásticos están degradados naturalmente en 2 años de descomposición, pero la degradación del LDPE se lleva a cabo con microbios para reducir la contaminación ambiental.

Vatseldutt y Anbuselvi (2014) realizaron la investigación "Isolation and Characterization of Polythene Degrading Bacteria from Polythene Dumped Garbage" tuvo como objetivo principal aislar y caracterizar el polietileno de baja densidad (LDPE). Metodología. Se transfirió un gramo de muestra de suelo a un matraz cónico que contenía 99 ml de agua destilada estéril. Este contenido se agitó y se diluyó en serie. Para aislar los microorganismos asociados a los materiales (bolsa de polietileno y vaso de plástico) se adoptó el método de la placa de vertido utilizando, para las bacterias, agar nutritivo, degradando las bacterias del suelo descargado con bolsas de polietileno. Las placas se incubaron a 30 °C durante 2-7 días. Las colonias desarrolladas se aislaron y se sub cultivaron repetidamente para obtener colonias puras. Muestra. Se recogieron muestras de suelo de la del vertedero en seis lugares diferentes de Selaiyur, Chennai. Resultados. Se identificaron cinco muestras diferentes mediante micro y macroscopía y se

confirmaron mediante varias pruebas bioquímicas. Basándose en la morfología de las colonias, la tinción de Gram, las pruebas bioquímicas y la prueba de motilidad, se identificaron cinco cepas diferentes. *E. coli, staphylococcus, pseudomonas, Klebsiella* y *bacillus*. La máxima degradación fue la de las especies de estafilococos y la mínima la de las especies de pseudomonas. *Staphylococcus* mostró un 52 % de degradación y *Pseudomonas* mostró un 11 % de degradación por pérdida de peso. Conclusión. Los microorganismos aislados de las zonas de vertido de polietileno pueden interactuar con el polietileno y sufrir cambios en las propiedades mecánicas de resistencia a la tracción. Está claro que los polímeros naturales pueden ser degradados en cierta medida por los microorganismos. La máxima degradación fue la de las especies de estafilococos y la mínima la de las especies de pseudomonas, estos microbios confirmaron la degradación del polietileno. Las colonias bacterianas se identificaron como *E.Coli, pseudomonas, Klebsiella* y *bacilo*.

Prabhat et al., (2013) realizaron el estudio "*Estudios de aislamiento e identificación de microorganismos activos durante la degradación de la película de polietileno / almidón*" con el objetivo de estudio, aislar e identificar los microorganismos del suelo durante las pruebas de biodegradación de la película de polietileno almidón Metodología. El método que se hizo uso fue la de dilución en serie del suelo. La muestra se extrajo del suelo de los materiales plásticos en biodegradación de la película de polietileno y almidón esto de la planta de tratamiento de aguas residuales, las mezclas de tierra de prueba (100 g, en base seca), las pruebas de biodegradabilidad en el compost a escala de se utilizó una serie de doce recipientes de compostaje (tres especímenes de prueba, el blanco y los controles negativo y positivo). y controles positivos) se ensayaron repetidamente dos veces. Resultados. Se identificaron la presencia de las bacterias identificadas son pseudomonas spp, Streptococcus spp, Staphylococcus spp, Micrococcus spp y Moraxella spp Bacillus subtilis, Bacillus amylolyticus y Arthobacter defluvii. Conclusiónes. El Bacillus amylolyticus es más útil que otras bacterias. Bacillus subtilis tiene menos capacidad para degradar el plástico que en comparación con otras bacterias. Hongos (Aspergillus niger, Aspergillus glaucus). Los microbios aislados son nativos del lugar del PEBD presentan cierta

degradabilidad en condiciones naturales, pero también presentan biodegradación en condiciones de laboratorio en medios de cultivo.

Antecedentes nacionales

Butron (2020) realizó la investigación "*Capacidad De biodegradación de Pseudomonas aeruginosa frente al polietileno de baja densidad presentada*" tuvo como objetivo evaluar la capacidad de biodegradación de *Pseudomonas aeruginosa* frente al polietileno de baja densidad, la bacteria biodegradaras del polietileno fueron aisladas de los residuos plásticos obtenidos del botadero de Cancharani de la ciudad de Puno, este aislamiento e identificación taxonómica. Metodología. Se realizó en base a características macroscópicas de crecimiento en placa y el estudio microscópico para la biodegradación del polietileno se realizó durante 30 días. Las muestras fueron obtenidas del ambientales de las obteniendo como resultados un porcentaje de 21.7 % y 27.3 % de pérdida de peso a una temperatura de 25 °C y 35 °C respectivamente a un pH de 7.0. Además, se evidenció la viabilidad de la biopelícula con microscopio de fluorescencia. Concluyendo que la Pseudomonas eruginosa demostró tener capacidad de biodegradación en un rango de temperatura de 25-35 °C.

Gutiérrez (2019) realizó la investigación "*Biodegradación de polietileno de baja densidad utilizando hongos, bacterias y consorcios microbianos aislados del botadero Municipal de Tacna*" esta investigación tuvo como objetivo biodegradar el polietileno de baja densidad (PEBD) mediante el uso de bacterias, hongos y consorcios microbianos aislados del botadero municipal de la ciudad de Tacna. Metodología. Se aislaron cepas, identificadas como *Bacillos sp*, *Acinetobacter sp*, *Pseudomonas sp*, *Flavobacterium sp*, *Micrococcus sp*, *Rhodotorula sp*, *Penicillium vanoranjei*, *Aspergillus sp*, *Saccharomyces cereviceae.* Muestra. Se trabajó con 30 muestras de bolsas y botellas (PEBD) recolectadas del botadero municipal de la ciudad de Tacna. Resultado. Los microorganismos aislados como el consorcio se obtuvo mayor porcentaje de biodegradación fue el consorcio 3 y con un porcentaje de 6,54 %. También hubo presencia de bacterias con un 69 % y hongos y levaduras con 31 %. Conclusión. Se obtuvo un porcentaje de 2,08 % en promedio de degradación del polietileno de baja densidad con los diferentes consorcios microbianos siendo el consorcio 3 el que reportó un porcentaje de

degradación de 6,4 %, donde se aislaron el hongo Rhodotorula sp y diplococos gram negativos y bacilos gram negativos.

Oliveros (2016) realizó la investigación "*Biodegradación de polietileno de tereftalato por microorganismos aislados de sitios de disposición final de residuos sólidos, Táchira, Venezuela*". El presente estudio tuvo como objetivo determinar el efecto degradador de un grupo de microorganismos, extraídos de lugares de disposición final de residuos sólidos del estado Táchira Venezuela. Metodología. para ello se colocaron los aislados en contacto con láminas de polietileno de tereftalato en tubos de ensayo con un caldo MMM y fueron llevados a incubación, finalizado este tiempo, se extrajeron las láminas para medir la pérdida de peso de estas. Adicionalmente, después de la incubación a través de observación directa y microscópica se observaron las características físicas de las láminas. Muestra. La recolección de muestra se extrajo del relleno sanitario de Táchira en condiciones de conservación. Resultados. de este proceso la pérdida de peso efectivo con resultados destacados en las cepas que corresponden a bacterias del tipo bacilos Gram negativos, las cepas que aportaron la mayor pérdida de peso fueron la D (43,7 mg), seguida de E (1,1 mg) y luego C (0,8 mg), dos de las cuales (C y D) corresponden a bacterias del tipo bacilos Gram negativos. Conclusión. Se evidencia que existe variedad de cepas microbianas capaces de utilizar el polietileno de tereftalato como única fuente de carbono, demostrando un mayor potencial de acción la codificada con la letra D, correspondiente a un bacilo Gram negativo, seguida del bacilo Gram positivo, marcado con la letra E. Es importante señalar que este tipo de bacterias ha sido asociado en diversas oportunidades con procesos de biodegradación de distintos materiales poliméricos. Se evidencia que existe gran cantidad de microorganismos capaces de degradar PET utilizándolo como única fuente de carbono, siendo esta una alternativa tecnológica para lograr disminuir la gravedad del problema que aqueja a nivel mundial la acumulación de los residuos sólidos.

Cáceres (2012) realizó la investigación "*Biodegradación bacteriana de polietileno de baja densidad bajo condiciones controladas en biorreactores AIR LIF*" tuvo como objetivo determinar la biodegradación de polietileno de baja densidad (bolsas de plástico) mediada por bacterias nativas de la Moyuna. Metodologia. Se logró aislar las bacterias que logren desarrollarse en presencia de

polietileno de baja densidad, pertenecientes a las especies *Pseudomonas sp, Edwarsiella sp.y Alcaligenes sp*., que se consideran como la más eficientes en la biodegradación del polietileno ya que se adaptó a las condiciones de la actividad microbiana dentro de un rango de 6.4 - 8.3 pH a temperaturas de 24 - 30 °C en medio acuoso. Muestra. Las muestras de suelo se recolectaron de tres zonas distintas del botadero "Moyuna" de la ciudad de Tingo María, se recolectaron 250 g de suelo con plásticos en aparente estado de descomposición. Resultados. Se observaron una pérdida de peso del PEBD provenientes de Metro al final de la operación del birreactor y cambios en la estructura del polietileno y en la coloración de las mismas con presencia de microorganismos utilizando como única fuente de carbono al polietileno de baja densidad. Conclusión. Entre las condiciones óptimas en las que se realizó la degradación por actividad microbiana se encuentran un pH de 6.4- 8.3, temperatura 24 °C - 30 °C, oxígeno disuelto inicial de 5.64 a 6.6 mg/L. Se observó disminución en peso para provenientes de Metro en 4.2 mg para la concentración de 50 mg/L, 4.6 para la concentración de 100 mg/L, 3.2 mg para la concentración de 150 mg/L y 1.6 mg para la concentración de 200 mg/L.

Uribe et al. (2010) realizaron la investigación "*Biodegradación de polietileno de baja densidad por acción de un consorcio microbiano aislado de un relleno sanitario, Lima, Perú".* El presente estudio tuvo como objetivo aislar y biodegradar a través de microorganismos extraídos de un relleno sanitario sobre polietileno de baja densidad. Metodología. Las muestras fueron filtradas y preseleccionadas en medio de sales minerales a pH 5,5 y 7 Se aislaron 6 cepas, identificadas como *Rhodotorula sp, Hyalodendron sp, Pseudomonas sp, Penicillium sp*. Muestra. Se recolectaron tres muestras de materiales plásticos con signos de deterioro fueron colectados entre los 15 y 20 cm de profundidad los microorganismos fueron aislados de materiales plásticos (polietileno de baja densidad) con evidencias de deterioro procedentes de un relleno sanitario de Lima, estas fueron trasladadas con material refrigerante al laboratorio para su procesamiento. La acción degradadora del consorcio microbiano aislado fue evidenciada por variaciones en el espectro infrarrojo del polietileno con respecto al polímero sin tratamiento. Resultados. Se observó la reducción del índice de carbonilo (83,89% a pH 7 y 4,08% a pH 5,5) y de terminaciones con dobles

enlaces (19,77% a pH 7 y 6,47% a pH 5,5). Finalmente se determinó el porcentaje de peso perdido del polietileno sometido a las cepas aisladas, observándose una disminución de 5,4% a pH 7 y 4,8% a pH5 y también se evidencio una levadura no identificada. Conclusión. La capacidad degradadora de cada cepa son tan versátiles bioquímicamente, que podrían estar tomando como fuente de carbono a los productos de degradación de las demás cepas integrantes del consorcio, por lo cual se recomienda realizar pruebas de biodegradación individualizadas para cada microorganismo encontrado.

Calvo y Zúñiga (2010) realizaron la investigación "*Caracterización fisiológica de cepas de bacillus spp. aisladas de la rizósfera de papa (solanum tuberosum)"*. El objetivo de esta investigación fue caracterizar fisiológicamente el crecimiento de *Bacillus spp*. en condiciones de pH bajo y diferentes temperaturas bajas, que son condiciones características de las zonas altoandinas donde crece el cultivo de papa y de cuyas rizosferas. Metodología. Fueron aisladas las diferentes cepas. Asimismo, se realizaron correlaciones entre morfología de colonia, lugar de procedencia, crecimiento a temperatura baja y a pH bajo para llegar a conocer la existencia o ausencia de una relación que nos lleve a un mejor entendimiento del comportamiento de este género. Muestra. se utilizaron 43 cepas de *Bacillus spp*. aisladas previamente de la rizósfera del cultivo de papa de 17 campos en Huancavelica y Puno, en los meses de enero y febrero, las dos primeras cepas fueron aisladas de muestras de alimentos y la última proporcionada por el Centro de Ciencias Genómicas de la UNAM. Resultados. Se observa que una característica común en todas las colonias de *Bacillus* es su forma irregular y color crema. Los resultados de las pruebas bioquímicas se muestran; el 84 % de las cepas aisladas muestran un comportamiento que las relacionan con la especie B. *subtilis*, las cepas 2, 13 y 25 solo se diferencian de las demás por crecer en anaerobiosis lo que las relaciona más con el género B. *licheniformis*, la cepas 21 y 30 muestran una reacción variable a la prueba de VP, la variabilidad en el resultado de esta prueba ya ha sido reportado por otro autor en 1987 por esta razón no se puede afirmar o descartar que pertenezcan al grupo de B. *subtilis*. cepa 9 muestra un resultado variable en la producción de acidez en presencia de glucosa, esta prueba no es determinante para la identificación de *Bacillus* y al igual que la prueba de VP puede presentar este tipo de resultados. Conclusión. Las especies de

la bacteria B. *subtilis* es uno del habitante que comúnmente se les puede encontrar en la rizósfera del cultivo de la papa. Se tiene como esencial conocer esta diversidad bacteriana dada la importancia de la relación no patogénica entre los microorganismos y las planta en la rizosfera, donde los microorganismos denominados Bacillus estos realizan una acción específica mediante la elaboración de metabolitos secundarios, resistencia a estreses biótico y abióticos gracias a estos facilita y absorbe los nutrientes del suelo.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Teoría de Karl Marx

El concepto de renta de la tierra propuesta por Karl Marx, lejos de quedar circunscrito a un sector particular de la economía, también fue el primero en explicar el deterioro de la tierra y la degradación desde una perspectiva económica a través de su teoría de la renta de la tierra. La intención en la renta de la tierra, sobre la biodegradación del polietileno bien a ser una categoría no contemplada hasta el momento sin embargo la teoría de Karl Marx describe en términos económicos como intervienen los procesos de pérdida de peso del plástico esto con los microorganismos provenientes de la tierra que interviene en el proceso de producción como cualquier otro medio natural. En este sentido, es equiparable a los demás recursos naturales como el agua, el aire o el viento. Contengan muchos de los microorganismos que aportan en la biodegradación de los diferentes residuos expuestos en el ambiente, pero a diferencia de éstos, no se encuentra disponible los micro organismos biodegradadores del plástico en cantidades ilimitadas en relación a la necesidad que se necesita para controlar la contaminación por el plástico. Según Ricardo y Karl Marx mencionan que “al incrementarse la demanda de productos primarios, es preciso que el cultivo avance sobre tierras de distintas fertilidades. A esta simple diferencia de rendimientos debe su existencia la renta de la tierra. Si la producción de alimentos no necesitara del uso de más de una parte de los terrenos disponibles, siendo todos ellos de la misma calidad, el arrendatario no pagaría renta alguna. Lo que provoca este particular resultado es que tanto los salarios como las ganancias están determinados en granos y, por lo tanto, cada vez que comience a producirse en tierras de calidad inferior, se estará disminuyendo la proporción de granos que constituye el producto total en la peor tierra con respecto a los salarios que se

pagan en ella, lo que implica una necesaria caída de la tasa de ganancia implícita [PTB - CB(W)] / CB(W), cualesquiera sean los precios" esto por otro sentido en la biodegradación del plástico de igual manera afectan las variables de temperatura, pH, y otros concernientes en la biodegradación del plástico.

En el caso de la degradación térmica, es importante conocer que la energía que produce el calor produce los cambios en el material esto produce cambios físico químicos en el material. Cuando el material plástico es sometido a altas temperaturas este material tiende a descomponerse sus moléculas y que por lo general esto se mide calculando los parámetros cinéticos de la descomposición del material como son la energía de activación y análisis de productos de descomposición. (Montoya, 2010)

2.2.2. Teoría de la biodegradación

La biodegradación es la capacidad metabólica que tiene los microorganismos para transformar compuestos orgánicos en otros más simples que pueden integrarse en los ciclos biogeoquímicos naturales. La biodegradación de un material está determinada por su estructura química, susceptibilidad de sus grupos funcionales a hidrolizarse, distribución de pesos moleculares y cristalinidad. La biodegradación del polietileno de baja densidad se constituye en base fundamental a microorganismos que asimilan en el proceso de alimentación de los polímeros. Esto precisamente no se trata de un proceso en la biodegradación del plástico por cultivo de bacterias y hongos, sino también por humus (Archana et al., 2017).

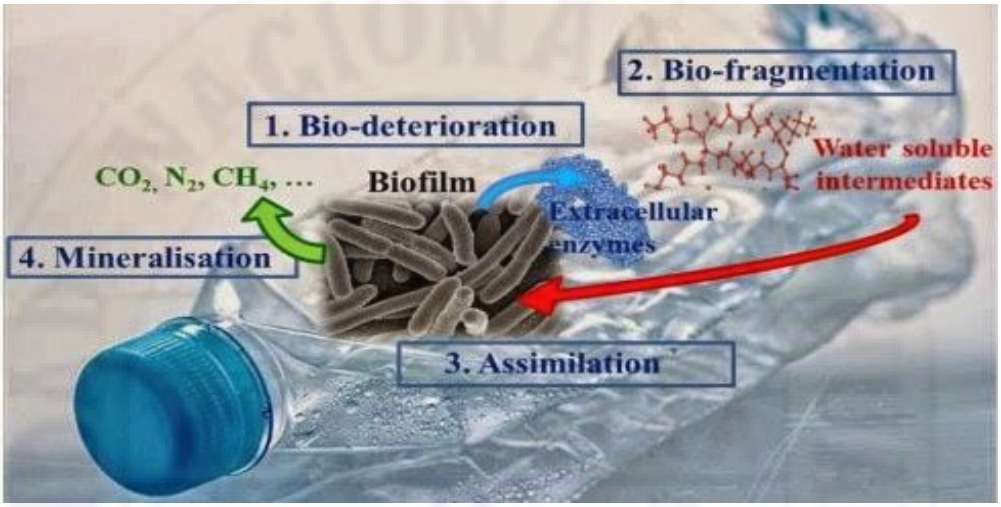
Biodegradación, la biodegradación llamado también descomposición orgánica, resultado de los procesos de digestión, asimilación y metabolización de organismos vivos. La biodegradación es la disolución química de los materiales por bacterias u otros medios biológicos que son capaces de descomponer o degradar materiales dentro de los elementos naturales (Torres, 2003).

Biodegradación de polímeros, la biodegradación es un proceso que se da naturalmente que descompone un material en dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), agua (H_2O) y constituyentes orgánicos, a causa de la acción enzimática de los microorganismos asimilando los polímeros por los organismos presentes en el ambiente (Pramila, 2011).

Las degradaciones físicas (olas, temperatura, UV) y químicas (oxidación o hidrólisis) contribuyen a fragilizar las estructuras de los polímeros y reducir el plástico en fragmentos de menor tamaño (Ipekoglu et al., 2007).

Figura 1

Biodegradación del polímero



Nota. El grafico presenta la degradación del plástico por microrganismos presentes en el ambiente que utilizan el plástico como única fuente de carbono. Martínez, (2020)

Biorremediación.- "La biorremediación es un proceso biotecnológico que es utilizado como alternativa para degradar plásticos, este hace uso de organismos vivos para la remediación de los contaminantes o sustancias tóxicas, pretendiendo acelerar los ciclos naturales a través de colonias microbianas" Martínez, (2016).

Degradación térmica. - La degradación térmica ocurre cuando se rompen los enlaces covalentes por el aumento de temperatura donde el material experimenta cambios fisicoquímicos. Todos los materiales, ya sean sintéticos o hechos por el hombre, generalmente producen sustancias tóxicas al ser expuestas a altas temperaturas. La degradación térmica, se refiere a cambios que el material sufre al estar sometido a energía y que por lo general se mide calculando los parámetros cinéticos de la descomposición del material como son la energía de activación y análisis de productos de descomposición. (Montoya, 2010)

Foto degradación. - La foto degradación es una reacción química que se produce por la acción del sol que se utiliza los rayos ultravioletas para descomponer la unión de los enlaces moleculares C-C y C-H así rompiendo las cadenas

moleculares reduciendo su peso molecular y propiedades mecánicas del polietileno.

Degradación hídrica. - La degradación hídrica se produce cuando el material entra en contacto en medio acuoso, la introducción del agua en la estructura del plástico provoca la ruptura del puente de hidrógenos intermoleculares, hidratación de las moléculas y finalmente la hidrolisis de los enlaces inestables.

Mecanismos de la biodegradación del plástico. - Son procesos químicos (oxidación, hidrolisis); físicos (degradación térmica, fotodegradación y degradación mecánica) y procesos biológicos (biodegradación con microorganismos). La biodegradación del plástico involucra un mecanismo, en el que los microorganismos actúan en relación con la degradación de los polímeros.

Producto de la biodegradación. - Los estudios demuestran que los microorganismos toman a los polímeros sintéticos y lo reducen a micromoléculas, más fáciles de metabolizar y mineralizar los cuales se enlistan a continuación, o, metilo benceno, docosanoato de metilo propilo, undecano, octano, elcosanol, docosano, tetracosano, pentacosano hexacosano, ciclo propano, acetona, ácido acético, tricosano, etc.

2.2.3. Teoría de la bacteria

Las bacterias son los seres vivos más pequeños y no visibles que podemos encontrar en el ambiente, como el resto de los seres vivos, estos necesitan una fuente de carbono para poder subsistir a través del tiempo. Estos microorganismos se les puede encontrar por todas partes desde la naturaleza hasta en las manos y en el rostro. El alimento o la fuente de carbono necesario sirve como criterio para la clasificación de las bacterias. Además, se necesita una fuente de energía que sirva para poder construir sus propias moléculas; el tipo de fuente de energía utilizada también sirve como criterio de clasificación, y estas son esenciales para la sobrevivencia de los microrganismos y se les puede encontrar desde benignos hasta los patógenos (Elika, 2017).

Consorcio microbiano. - Son la unión de una variedad de especies tolerantes entre sí de microorganismos, estos pueden tolerar mejor las etapas de limitación de nutrientes debido a la diversidad metabólica disponible por la diversidad de especies, mezclada con la habilidad de compartir metabolitos dentro de la

comunidad bacteriana. Muchas especies, comúnmente, se encuentran mezcladas dentro de un ambiente porque tienen los mismos requerimientos y necesidades para el sostenimiento de su vida y comparten elementos de su nicho ecológico, y necesitan de la presencia de un elemento común para la sustentabilidad de su vida. (Billmeyer, 2004).

"Habitualmente el lugar donde se ubica el consorcio encaja con espacios en donde las condiciones ambientales son las correctas, es decir, donde los microorganismos tienen el mayor crecimiento y reproducción" (Montoya, 2010).

Alianza natural de dos o más poblaciones microbianas, de especies distintas, que actúan simultáneamente como una comunidad en un sistema complejo, donde todos se favorecen de las actividades de los demás. Un consorcio microbiano puede ejecutar funciones complejas que poblaciones individuales no podrían; además, la vida en asociación puede originar mucha más resistencia a las fluctuaciones del ambiente y fomentar la estabilidad de los miembros, en el tiempo. (Fernández, 2003)

Estos rasgos distintivos dependen de dos características. Primero la división del trabajo, la producción total de un consorcio depende de la combinación de deberes desempeñadas por los constituyentes individuales, es decir, por las poblaciones microbianas involucradas. Segundo, los miembros de un consorcio se comunican el uno con el otro, ya sea por el intercambio de sustancias o por señales moleculares, cada población detecta y responde a la presencia de otras dentro del consorcio, ejecutando sobre ellas un control positivo o negativo en su desarrollo. (Silva, 2000)

Microorganismos degradadores del polietileno. – Muchos son los microorganismos presentes en el ambiente y alrededores en nuestra vida cotidiana degradan el plástico, cuando las condiciones ambientales favorecen esta acción los microorganismos se adaptan a los requerimientos o necesidades para la degradación del plástico. Se han demostrado en diversos estudios sobre biodegradación del polietileno, por lo que nuevas tecnologías han sido utilizándose como fuente experimental para el control de contaminación por el plástico que esta contaminando el medio que nos rodea siendo los microorganismos capaces de solucionar este problema. (Acuña, 2017)

Célula bacteriana. - La célula bacteriana consta de una capa llamada citoplasma esto representa un aspecto viscoso, es ahí en la parte central que aparece un nucleoide en donde se encuentra la mayor parte del ADN bacteriano, y en algunas bacterias aparecen fragmentos circulares de ADN con información genética, dispersos por el citoplasma conocidos como plásmidos, que poseen membranas plasmáticas con invaginaciones, que son los mesosomas, donde se encuentran enzimas que intervienen en la síntesis de ATP, y los pigmentos fotosintéticos en el caso de bacterias fotosintéticas (Silva, 2000).

2.2.4. Teoría del polímero

Los polímeros son una cadena unida de monómeros que se van repitiendo y se les encuentra artificiales como naturales. El polímero natural más común es la celulosa, esta es un compuesto orgánico pertenecientes al reino vegetal y lo podemos encontrar en las paredes celulares. Estos polímeros son de gran utilidad en la producción de textiles y papeles; los polímeros artificiales incluyen en su estructura materiales como el polietileno (que es uno de los materiales plásticos más comunes que se les pueda encontrar en nuestro alrededor) y poliestireno (utilizado para producir vasos desechables de un solo uso) son las que más fáciles de producir son por las industrias plásticas. Algunos polímeros sintéticos son flexibles conocidos como termoplásticos, mientras que otros son permanentemente rígidos llamados también termoestables (Johnson, 2019).

Polímeros. - Un polímero es la unión de monómeros que dan a una gran molécula construida por la repetición de pequeñas unidades químicas simples. En algunos casos la repetición es lineal, semejante a como una cadena que forman unos eslabones. En otros casos las cadenas son ramificadas o interconectadas formando retículos tridimensionales, la unidad repetitiva del polímero es usualmente equivalente o casi equivalente al monómero o material de partida del que se forma el polímero (Billmeyer, 2004).

Dependiendo del uso, los polímeros pueden adaptarse para obtener ciertas propiedades ventajosas y útiles:

- Elasticidad. - los cauchos sintéticos y naturales poseen propiedades elásticas que los hacen adecuados como para neumáticos de automóviles.

- Fragilidad. - algunas formas de poliestireno son frágiles, y dichos materiales son fáciles de deformarse con el calor.
- Resistencia al impacto. - los plásticos resistentes que pueden soportar un manejo rudo son perfectos para fundas protectoras, parachoques de carros.
- Reflexividad. - la mayoría de los polímeros se utilizan para producir películas reflectantes, que se utilizan en una variedad de tecnologías relacionadas con la luz.

Polímeros degradables. - Son polímeros que experimentan reacciones de degradación por acción de microorganismos tales como bacterias, hongos y algas bajo condiciones naturales que ocurren en la naturaleza en un período corto de tiempo. Un polímero cuya estructura esquelética es hidrolizable y susceptible a la degradación química o microbiana. La mayoría de los polímeros naturales son de este tipo incluidos los polisacáridos, las proteínas y los ácidos nucleicos. Entre los polímeros sintéticos con esqueletos hidrolizables se incluyen los poliuretanos, poliésteres, poliésteres y las poliamidas. Estos materiales son susceptibles a la degradación inducida por ácidos o bases (Billmeyer, 2004).

Teoría del polietileno (PE), **-** El polietileno es una resina sintética versátil y ligera constituida de polimerización de etileno. El polietileno es parte de la familia de resinas de poliolefina. Es el plástico más consumido y utilizado por todo el mundo, y su transformación se convierte en productos desde bolsas de compras que son utilizadas en una sola oportunidad, envolturas de alimentos transparentes y hasta botellas de detergente, estas son expuestas al ambiente como desechos y son particulados en el ambiente causando grandes problemas en la naturaleza y los habitantes en el mundo entero (Billmeyer, 2004).

El polietileno de baja densidad. - El plástico de un solo uso es uno de los plásticos que más uso tiene y posee un grado de ramificación muy elevado, entre 20 y 40 ramas por cada 1000 átomos de carbono. Las ramificaciones del polietileno tienen características en la cadena de cadenas y/o larga brindando a la estructura estabilidad como fragilidad dependiendo de la ramificación. El polietileno de baja densidad posee en su estructura una cristalinidad que va por debajo del polietileno de clase 2 y al plástico polietileno de macromoléculas lineales, debido a la presencia de macromoléculas muy ramificadas en su

estructura son muy resistentes al tiempo por lo que su persistencia en el ambiente es por muchos años. Coreño y Méndez (2010) sostienen que estas características de macromoléculas en su estructura provocan que haya una mayor diferencia en composición como de ramificación, haciendo que el plástico tenga menor o mayor densidad y resistencia, haciendo que tenga mayor o menor demanda en el mercado. El polietileno de baja densidad es uno de los plástico con escasa dureza, pero tiene una elevada resistencia al impacto de descomposición y a la elongación por lo que este material flexible tiende a ser utilizada una vez (Universidad de Barcelona, 2019).

2.2.5. Polietileno (PE)

El polietileno al igual que cualquier polímero no posee un único grado de cristalinidad, e incluso una sola muestra puede poseer varios grados de cristalinidad agregados, sin embargo, el polietileno tradicionalmente y por cuestiones mecánicas, de apariencia y practicidad se puede clasificar en tres tipos básicos de acuerdo a su grado de polimerización (Roca, 2005).

Polietileno de baja densidad LDPE. - Se le denomina polietileno de baja densidad debido a su estructura molecular que posee gran parte de composición se encuentra muy ramificada (cerca de los 2 % de los átomos de carbón), posee como peso molecular de 100.000 - 300.000 (gr/mol) y como densidad de 0,90 - 0,91 (gr/cm^3) siendo de menor densidad y esto se ve reflejado de acuerdo a sus cualidades reológicas, se usa en la fabricación de bolsas desechables (Pramila, 2011).

Polietileno lineal de baja densidad o (LLDPE).- El polietileno lineal de baja densidad es uno de los polímeros plásticos que más simples que mayormente se utiliza para el revestimiento su producción es una variante y poco ramificada, esto se podría clasificar como característica de cristalinidad intermedia, con un valor de 0,915 (g/cm^3) siendo relativamente compacto (Pramila, 2011).

Polietileno de alta densidad (HDPE).- El polietileno de alta densidad es un polímero termoplástico y es obtenida por la adición de unidades de etileno estas son las características que difieren con el polietileno de baja densidad y es uno de los plásticos que en su estructura presenta el mayor grado de linealidad siendo más denso que el polietileno de baja densidad por lo que resiste mucho mejor a las

altas temperaturas, su peso molecular varia de 200.000 a 400.000 (gr/mol) y su densidad es de 0,94 a 0,97 y 0,91 a 0,94 (g/cm^3), gracias a estas características el polietileno de alta densidad es uno de los materiales plásticos muy compactos y fuertes siendo usado en la fabricación objetos plásticos que logran a resistir muy bien al tiempo y siendo uno de los materiales reciclables.

2.3. Hipótesis

2.3.1. Hipótesis general

La bacteria *Staphylococcus sp* aislado del botadero de Ascensión - Huancavelica degrada el polietileno de baja densidad (LPDE).

2.3.2. Hipótesis específicas

- El *Staphylococcus sp* aislado del botadero Ascensión-Huancavelica realiza mayor degradación del polietileno de baja densidad (LPDE) a 37 °C.
- El *Staphylococcus sp* aislado del botadero Ascensión-Huancavelica realiza menor degradación del polietileno de baja densidad (LPDE) a 15 °C.

2.4. Identificación de variables

2.4.1. Variable independiente

Tabla 1

Sistema de variable independiente

Denominación	Polietileno de baja densidad (LPDE)
Tipo	Independiente
Naturaleza	Cuantitativa
Medición	De razón
Indicador	Velocidad
Unidad de medida	mg
Instrumento	Registro de velocidad biodegradativa de las bacterias al polietileno
Dimensión	Características de las bacterias *Staphylococcus sp*
Definición operacional	La bacteria *Staphylococcus sp*se extraerán y se cultivaran en medio manitol salado y posteriormente se hará el experimento con el polietileno
Definición conceptual	Velocidad degradativa de las bacterias *Staphylococcus sp*

Nota. Variable independiente

2.4.2. Variable dependiente

Tabla 2

Sistema de variable dependiente

Denominación	Biodegradación de polietileno de baja densidad (LPDE)
Tipo	Dependiente
Naturaleza	Cuantitativa
Medición	De razón
Indicador	Diferencia de masas inicial y final
Unidad de medida	Micro Gramos(mg)
Instrumento	Registro de biodegradación de las bolsas plásticas (peso)
Dimensión	Masa del polietileno de baja densidad (LPDE)
Definición operacional	El polietileno será metabolizado por bacterias *Staphylococcus sp* aisladas del botadero de Ascensión
Definición conceptual	Biodegradación del polietileno de baja densidad

Nota. Sistema de variable dependiente

2.5. Alcances y limitaciones

El proyecto se propone estudiar la biodegradación del polietileno de baja densidad con bacterias aisladas del botadero de Ascensión que se encuentra en Ranracucho, para evaluar el poder de biodegradación de las bacterias *Staphylococcus sp* en la ciudad de Huancavelica.

2.5.1. Alcances

El presente estudio tuvo lugar en el botadero del distrito de Ascensión Ranracucho de donde se extrajo el material plástico en estado de degradación en donde fue aislado las bacterias *Staphylococcus sp* abarcando la biodegradación del polietileno de baja densidad de clase 4 de la familia de los polietilenos, esto a nivel laboratorio tratándose de un plástico muy flexible y transparente cuya utilidad es frecuente en forma de bolsas de todo tipo y de un solo uso.

2.5.2. Limitaciones

El presente trabajo de investigación tuvo como limitaciones el acceso al lugar de donde se pretendía extraer las bacterias de *Staphylococcus sp* del polietileno de baja densidad (LPDE) en estado de degradación del botadero de Pampachacra, que se encontraba en un conflicto social con los pobladores de la

zona con la Municipalidad Provincial de Huancavelica, por lo que se decidió cambiar el lugar por el botadero del distrito de Ascensión.

Otra de las limitaciones de la presente investigación fue el acceso al botadero de Ascensión por los mismos conflictos que en el botadero de Pampachacra, en donde los pobladores decidieron cerrar el botadero de Ranracucho donde estábamos llevando a cabo la investigación.

La actual pandemia complicó la movilización de los ciudadanos y con esto a los investigadores lo cual dificultó el aislamiento y la siembra de las bacterias en el laboratorio de la Universidad Nacional de Huancavelica por ser un procedimiento que constó de varios días.

La manipulación de las bacterias *Staphylococcus sp*, desde la extracción de las muestras, manipulación y registro de biodegradación del polietileno esto por la peligrosidad de los microorganismos ya que estas bacterias son muy patológicas.

CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ámbito temporal y espacial

3.1.1. Ámbito temporal

En el ámbito temporal del presente trabajo de investigación se basa en el tiempo de estudio del proyecto que fue desarrollado desde el setiembre del 2019 hasta el marzo del año 2020.

3.1.2. Ámbito espacial

El ámbito espacial del trabajo de investigación realizada (botadero de Ascensión) se encuentra en el lugar denominado Ranracucho a 3.5 km de la plaza principal del distrito de Ascensión, a la margen izquierda de la carretera de Ascensión – Palca, del distrito de Ascensión, provincia de Huancavelica y departamento de Huancavelica.

Tabla 3

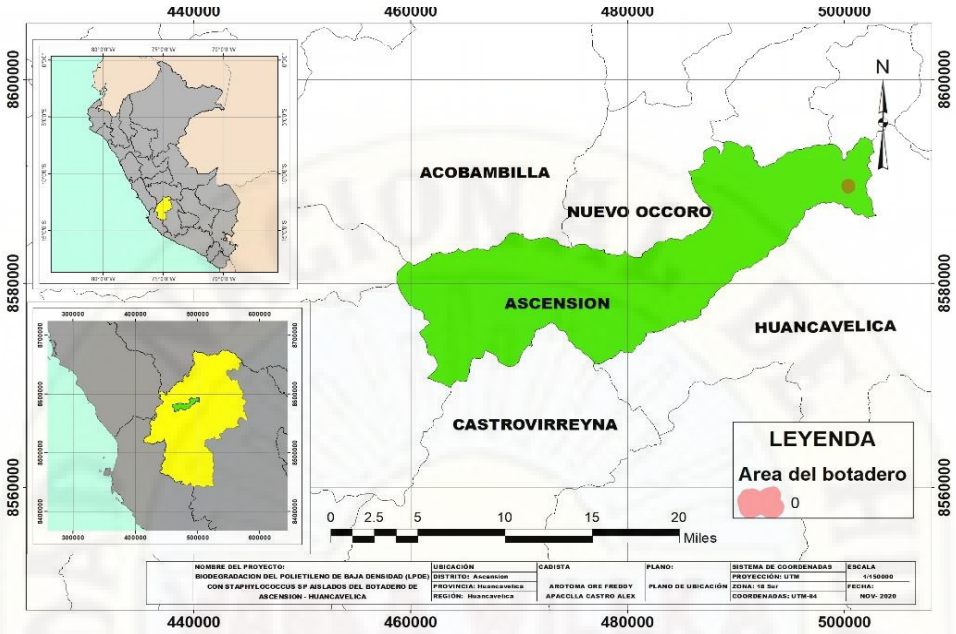
Ubicación geográfica del botadero de Ascensión

Botadero de Ascensión (Ranracucho)	
Departamento	Huancavelica
Provincia	Huancavelica
Distrito	Ascensión
Nombre del lugar	Ranracucho
Clasificación de categoría	Botadero
Coordenadas WGS84	500320.36 m E 8589544.74 m S
Altitud	4250 msnm
Zona	18 S

Nota. Datos, geográfica espacial del botadero de Ranracucho que muestran la localización exacta del lugar de estudio y extracción de microorganismos que degradan el plástico. Elaboración propia

Figura 2

Ubicación geopolítica del botadero de Ascensión



Nota. La imagen muestra la ubicación del botardero de Ranracucho que se encuentra en el distrito de Ascención . Arc Gis 10.6, (2020).

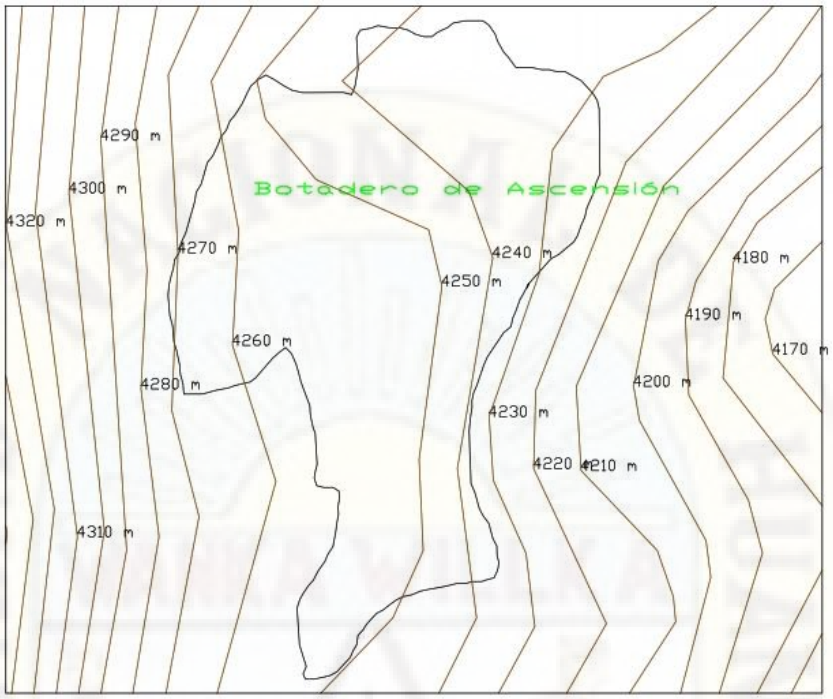
Figura 3

Ubicación geográfica del botadero con vista espacial

Nota. La imagen muestra el area donde se ubica el botadero de Ranracucho y de donde se extrageron las muestras de polietileno en degradacion. Google Earth Pro (2020)

Figura 4

Ubicación geográfica del botadero de Ascensión



Nota. La imagen muestras las altitudes donde se situa el botadero de Ranracucho. AutoCad 2018

Área de estudio donde se realizó la biodegradación del LPDE por *Staphylococcus sp* a escala laboratorio, en el área de microbiología del Laboratorio Central de la Universidad Nacional de Huancavelica.

Tabla 4

Ubicación geográfica del Laboratorio de Microbiología

Área de estudio de pruebas de laboratorio	
Departamento:	Huancavelica
Provincia:	Huancavelica
Distrito:	Huancavelica
Laboratorio:	Laboratorio de Microbiología
Coordenadas	504293.00 m E
Geográficas	8587474.00 m S
Altitud:	3728 msnm

Nota. Ubicación geográfica espacial del Laboratorio Central, Microbiología. Elaboración propia

Figura 5

Ubicación geográfica del laboratorio de microbiología

Nota. Laboratorio General, Microbioogia donde biodegrado el polietileno de baja densidad. Google Earth Pro, 2020.

3.2. Tipo de investigación

Investigación aplicada. Se basa en la utilización de los conocimientos en la práctica en ambientes controlados, para aplicarlos posteriormente en ambientes naturales (en el campo). en la mayoría de los casos en provecho del hombre y la sociedad, las experiencias en investigación con el propósitos de resolver mejorando una situación específica o ya sea particular, para constatar un método o modelo mediante la aplicación innovadora y creativa de una propuesta de intervención (Vargas, 2009).

La investigación es de tipo aplicada por la manipulación de la variable dependiente (Microorganismos) en ambientes controlados de temperaturas a 15 °C, 20 °C y 37 °C con el propósito de solucionar el gran problema del siglo 21 que son la utilización indiscriminada del polietileno de un solo uso y así generar metodologías para la mejor disposición de los residuos plásticos de nuestra población.

3.3. Nivel de investigación

Explicativo, porque se busca explicar el comportamiento del polietileno de baja densidad (LPDE), respecto al *Staphylococcus sp*. En tal sentido, los estudios explicativos pueden ocuparse tanto de la determinación de las causas y efectos.

3.4. Método de investigación

Experimental, porque se biodegradó el polietileno de baja densidad en ambientes controlados, con esta investigación se comprobó que es posible biodegradar el plástico de un solo uso estando expuestos a las bacterias *Staphylococcus sp*.

Estadístico: se usa cuadros estadísticos en Excel, SSPS y SAS.

3.5. Diseño de investigación

El diseño de la investigación es experimental con un diseño completamente al azar DCA con 8 repeticiones.

$$Yij = u + Tj + Eij$$

Donde:

Yij= biodegradación del polietileno de baja densidad (LPDE)

u = media

Tj = temperatura, siendo 37 °C, 20 °C, 15 °C.

Eij = error experimental

3.6. Población, muestra, muestreo

3.6.1. Muestra no probabilística

Población. - En el presente trabajo de investigación se maneja como población el volumen de polietileno de baja densidad (LPDE) del botadero de Ascensión.

Muestra. - La muestra es un subconjunto fielmente representativo de la población y consta de 1 kilogramo de polietileno de baja densidad en estado de descomposición colectado del botadero de Ascensión el 6 de enero del 2020.

Muestreo. - El muestreo utilizado en la presente investigación fue de tipo no probabilístico por conveniencia.

3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Las técnicas principales que se utilizó en la recolección de datos fueron a través de la observación directa, anotación de situaciones y hechos que se producen en un campo de estudio, nos permitirá establecer, la relación con el objeto y sujeto de la investigación. cumplen con tres requisitos esenciales, confiabilidad, validez y objetividad según lo afirma Hernández (2014).

Figura 6

Técnica de MacFarland 2 utilizada en los tubos de ensayo

Nota. La imagen muestra la turbiedad de los microorganismos (*Staphylococcus sp*) con la técnica MacFarland 2. Elaboración propia

3.6.1. Recolección de datos

Recolección de muestras. - La recolección de muestras (polietilenos de baja densidad en estado de descomposición) se realizó en el botadero de Ascensión - Huancavelica.

Tabla 5

Lugar de recolección de muestras

Material	Lugar	Altitud (msnm)	UTM
Polietileno de baja densidad (LPDE)	Botadero de Ascensión	4237	500341.23 E 8589513.15 S

Nota. Ubicación geográfica del muestreo del polietileno de baja densidad. Elaboración propia

Aislamiento de la bacteria *Staphylococcus sp* en el botadero. Para el aislamiento de la bacteria se sacaron muestras del botadero Ranracucho que se encuentra en Ascensión.

Tabla 6

Aislamiento de la bacteria

Muestra	**Medio de cultivo**	**Bacteria**	**Lugar**
Polietileno de baja densidad (LPDE)	Agar Manitol Salado	*Staphylococcus sp*	Botadero de Ascensión

Nota. Utilización de agar manitol Salado para el aislamiento de las bacterias desintegradores del plástico. Elaboración propia

Datos de los pesos iniciales. - Para la toma de muestras se pesaron los pesos iniciales para la posterior comparación.

Tabla 7

Datos antes de la biodegradación del polietileno de baja densidad

Temperatura °C	N° de tubos und	P. inicial(mg)
37 °C	1	0,0126
	2	0,0133
	3	0,0121
	4	0,0139
	5	0,0133
	6	0,0123
	7	0,0121
	8	0,0124
20 °C	1	0,012
	2	0,0142
	3	0,0112
	4	0,0113
	5	0,0116
	6	0,0129

	7	0,012
	8	0,012
15 °C	1	0,0129
	2	0,0132
	3	0,0113
	4	0,0121
	5	0,0128
	6	0,0113
	7	0,0132
	8	0,0124

Nota. Registro de pesos iniciales del polietileno (LPDE) de baja densidad. Elaboración propia

3.7.1. Procesamiento de la información

La información recopilada de las pruebas realizadas en el laboratorio de microbiología, para determinar la biodegradación del polietileno de baja densidad LPDE por *Staphylococcus sp*.

Para el presente proyecto se utilizó el software Microsoft Excel 2016, mismo que se utilizó para crear base de datos, el análisis estadístico de prueba de hipótesis con un nivel de confianza al 95% con el programa estadístico SAS 9.4, y comprobación a través del procedimiento de intervalos de confianza. Para las varianzas de los tratamientos se hizo el uso de la prueba de homogeneidad y normalidad, posteriormente se hizo la diferencia de tratamientos mediante el uso de la prueba de ANOVA y finalmente se aplicó la prueba de medias de Tukey al 0.05 %, todo el procesamiento se realizó mediante el uso del programa SAS 9.4, con el objetivo de constatar la hipótesis. El Staphylococcus *sp* aislado del botadero Ascensión -Huancavelica realiza mayor degradación del polietileno de baja densidad (LPDE) a 37 °C respecto a la temperatura de 15 °C. 20 °C. El *Staphylococcus sp* aislado del botadero de Ascensión -Huancavelica realiza menor degradación del polietileno de baja densidad (LPDE) a 15 °C.

3.8. Ámbito de estudio

El ámbito de estudio fue el botadero de Ascensión y las instalaciones del área de microbiología del Laboratorio Central de la Universidad Nacional de Huancavelica en la Ciudad Universitaria de Paturpampa.

CAPÍTULO IV:
DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Resultados

4.1.1 Resultados de la biodegradación del polietileno de baja densidad (LPDE)

Tabla 8

Biodegradación del polietileno de baja densidad (LPDE)

Temperatura °C	N° de tubos und	P. inicial(mg)	P. final(mg)	Biodegradación (mg)
37 °C	1	0,0126	0,0123	-2,38095
	2	0,0133	0,013	-2,25564
	3	0,0121	0,0119	-1,65289
	4	0,0139	0,0136	-2,15827
	5	0,0133	0,013	-2,25564
	6	0,0123	0,0121	-1,62602
	7	0,0121	0,0119	-1,65289
	8	0,0124	0,0122	-1,61290
20 °C	1	0,012	0,0119	-0,83333
	2	0,0142	0,0141	-0,70423
	3	0,0112	0,0111	-0,89286
	4	0,0113	0,0113	0,00000
	5	0,0116	0,0115	-0,86207
	6	0,0129	0,0129	0,00000
	7	0,012	0,0119	-0,83333
	8	0,012	0,0119	-0,83333
15 °C	1	0,0129	0,0128	-0,77519
	2	0,0132	0,0132	0,00000
	3	0,0113	0,0113	0,00000
	4	0,0121	0,0121	0,00000
	5	0,0128	0,0128	0,00000
	6	0,0113	0,0113	0,00000
	7	0,0132	0,0132	0,00000
	8	0,0124	0,0123	-0,80645

Nota. Registro de los pesos de biodegradación del polietileno y el % de biodegradación. Elaboración propia

Porcentaje de biodegradación del polietileno de baja densidad.- Una vez retirado las muestras de las estufas las láminas se dejaron a temperatura ambiente durante 3 horas, transcurrido este tiempo se pasó a pesar las láminas (tres mediciones) sacando el promedio en una balanza analítica evaluando la pérdida de peso respecto al peso inicial de la muestra con la siguiente formula dando como resultado el porcentaje de degradación del polietileno de baja densidad (Ambika et al., 2014).

$$\left(\frac{PI - PF}{PI}\right) * 100$$

Donde:

$PF: peso\ final\ despues\ de\ la\ incubacion$

$PI: peso\ inicial\ antes\ de\ la\ incubacion$

Tabla 9

Porcentaje de biodegradación del polietileno de baja densidad (LPDE)

Temperatura °C	N° de tubos und	P. inicial(mg)	P. final(mg)	Biodegradación (mg)	Biodegradación (%)
37 °C	1	0,0126	0,0123	-2,38095	2,38095
	2	0,0133	0,013	-2,25564	2,25564
	3	0,0121	0,0119	-1,65289	1,65289
	4	0,0139	0,0136	-2,15827	2,15827
	5	0,0133	0,013	-2,25564	2,25564
	6	0,0123	0,0121	-1,62602	1,62602
	7	0,0121	0,0119	-1,65289	1,65289
	8	0,0124	0,0122	-1,61290	1,61290
20 °C	1	0,012	0,0119	-0,83333	0,83333
	2	0,0142	0,0141	-0,70423	0,70423
	3	0,0112	0,0111	-0,89286	0,89286
	4	0,0113	0,0113	0,00000	0,00000
	5	0,0116	0,0115	-0,86207	0,86207
	6	0,0129	0,0129	0,00000	0,00000
	7	0,012	0,0119	-0,83333	0,83333
	8	0,012	0,0119	-0,83333	0,83333
15 °C	1	0,0129	0,0128	-0,77519	0,77519
	2	0,0132	0,0132	0,00000	0,00000
	3	0,0113	0,0113	0,00000	0,00000
	4	0,0121	0,0121	0,00000	0,00000

5	0,0128	0,0128	0,00000	0,00000
6	0,0113	0,0113	0,00000	0,00000
7	0,0132	0,0132	0,00000	0,00000
8	0,0124	0,0123	-0,80645	0,80645

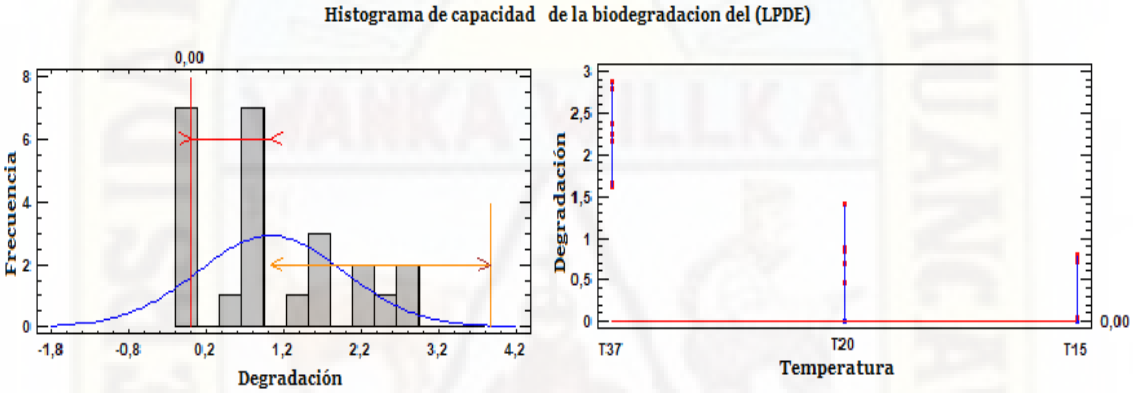
Nota. Porcentaje de biodegradación del polietileno en base a los pesos iniciales y finales. Elaboración propia

4.2 Presentación de resultados

4.2.1 Resultados de la biodegradación del polietileno

Figura 7

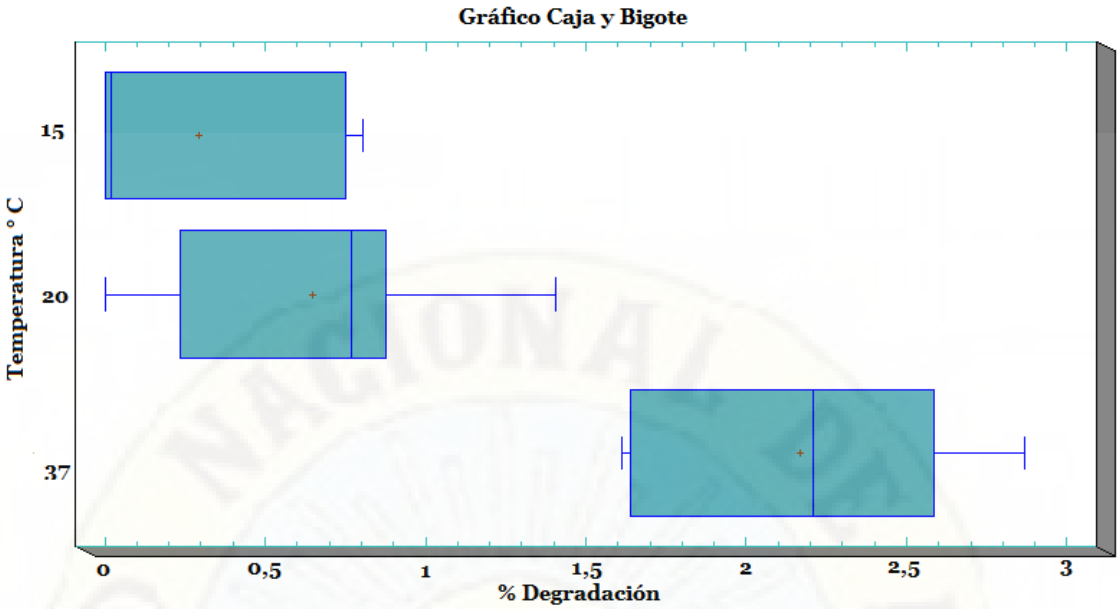
Diagrama de capacidades de la biodegradación (LPDE)



Nota. Diagrama de comportamiento de biodegradación del polietileno de baja densidad. Elaboración propia

Figura 8

Gráfico caja y bigote



Nota. Comportamiento del polietileno a una temperatura de 37 °C, 20 ° C y 15 °C. Elaboración propia

4.1.1 Prueba Tukey

Tabla 10

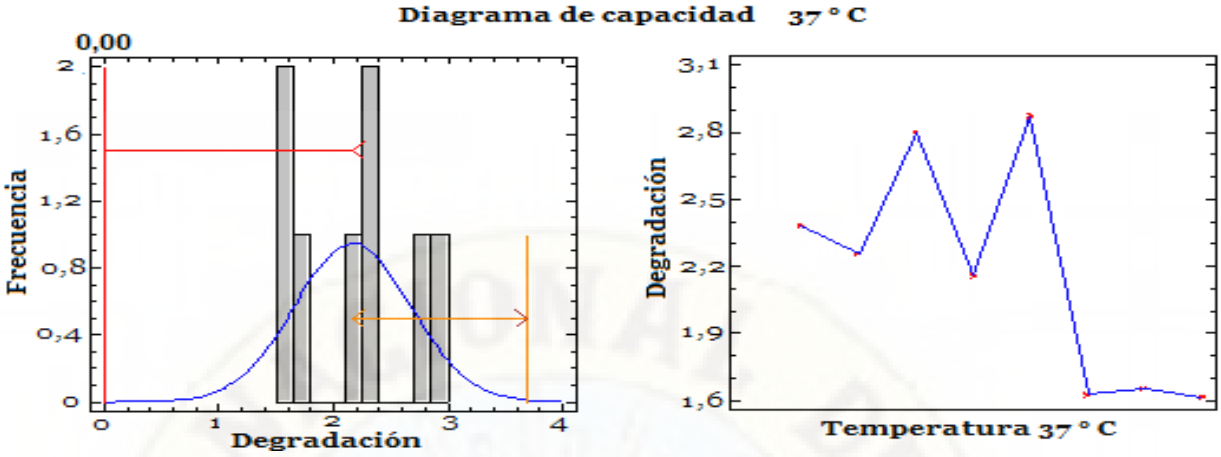
Prueba de Tukey de los valores de biodegradación de polietileno

Biodegradación de polietileno de baja densidad (LPDE)				
Variable	Temperatura (°C)	N	Media (Tukey agrupamiento) *	Desviación estándar
Staphylococcus Sp	37	9	2.16^{A}	± 0.39
Staphylococcus Sp	20	9	0.52^{B}	± 0.36
Staphylococcus Sp	15	9	0.29^{B}	± 0.50

Nota. Prueba Tukey de la biodegradación del polietileno de baja densidad *. Medias con la misma letra no son significativamente diferentes. Elaboración propia

Figura 9

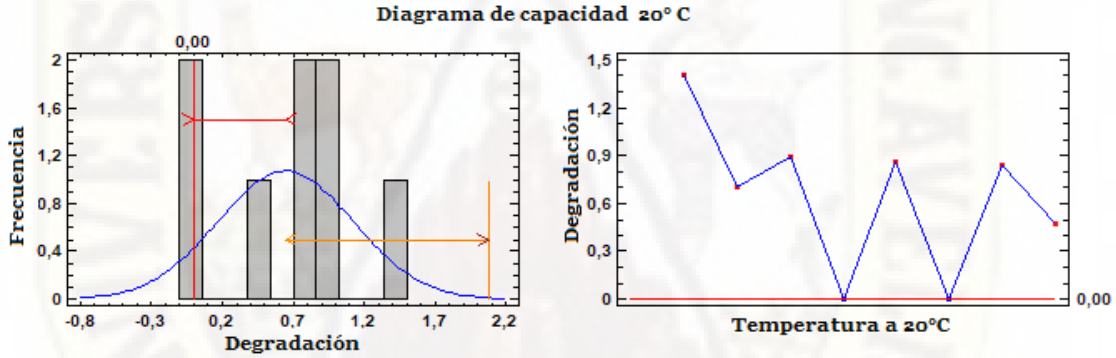
Diagrama de capacidad de 37 °C



Nota. La imagen muestra diagramas de capacidades a 37 °C donde se ve el comportamiento de los microorganismos. Elaboración propia

Figura 10

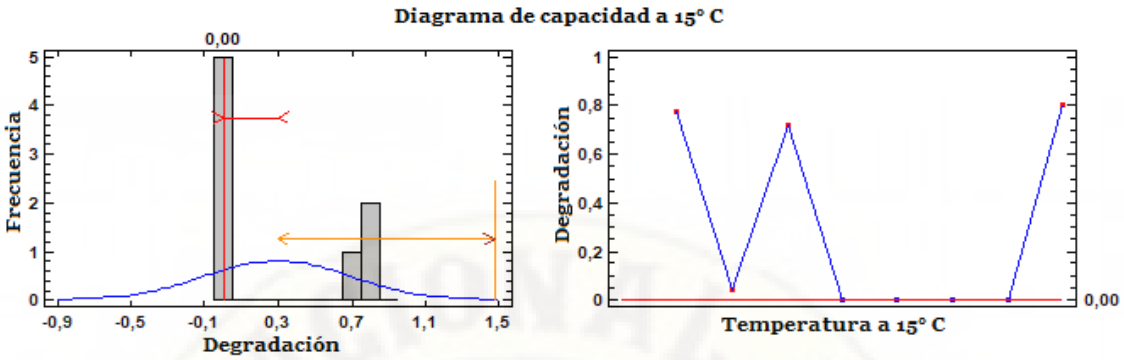
Diagrama de capacidad de 20 °C



Nota. La imagen muestra diagramas de capacidades a 20 °C donde se ve el comportamiento de los microorganismos. Elaboración propia

Figura 11

Diagrama de capacidad de 15 °C



Nota. La imagen muestra diagramas de capacidades a 15 °C donde se ve el comportamiento de los microorganismos. Elaboración propia

4.3 Prueba de normalidad

Para la presente investigación se realizó el test de normalidad utilizando el estadístico de Shapiro-Wilk, porque la cantidad de datos evaluados de cada parámetro son menores a 50 datos (n < 50).

4.3.1 Test de normalidad para biodegradación de polietileno de baja densidad (LPDE) con la bacteria *Staphylococcus sp*

Tabla 11

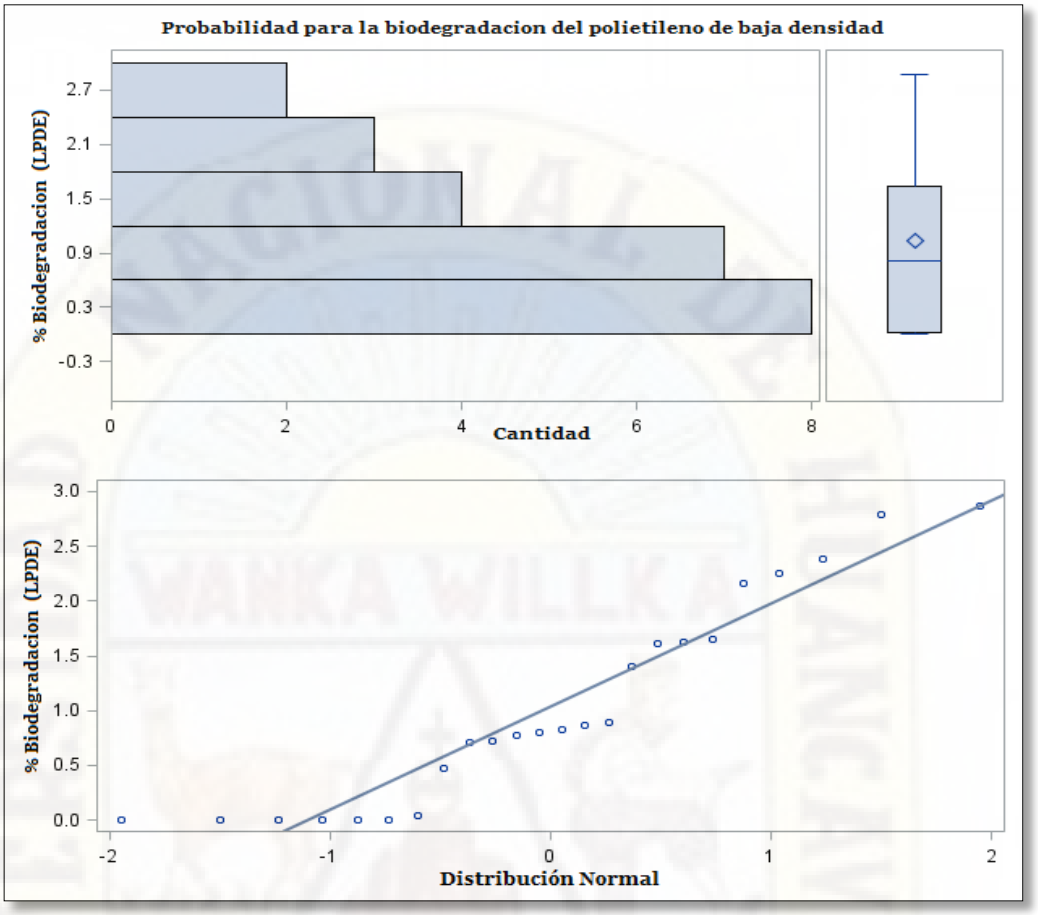
Test de normalidad para biodegradación de polietileno

Test para normalidad				
Test	**Estadístico**		**p valor**	
Shapiro-Wilk	**W**	0.893139	**Pr < W**	0.0854

Nota. Se realizó el test de normalidad con el estadístico Shapiro-Wilk resultando un valor de 0.0854 siendo mayor a 0.05 estos datos de biodegradación de polietileno de baja densidad presentan un comportamiento normal. Elaboración propia

Figura 12

Distribución y probabilidad de la biodegradación LPDE



Nota. En la imagen se muestra la distribución de probabilidad en la biodegradación del polietileno de baja densidad. Elaboración propia

4.4 Prueba de hipótesis

Según (Sampieri, 2010) menciona que la prueba de hipótesis es la contrastación de que se resume a 6 pasos, y estando en este último paso, se tiene ya la determinación de tomar la decisión de aceptar o rechazar la hipótesis nula; atendiendo a este planteamiento, que a criterio propio es el más coherente; sin dejar de lado otros planteamientos, para ello es preciso seguir estos pasos para el contraste de la hipótesis los siguientes pasos:

1. Formular la hipótesis nula y alterna de acuerdo al problema.
2. Escoger un nivel de significancia o riesgo α.
3. Escoger el estadígrafo de prueba más apropiado.

4. Establecer la región crítica.

5. Calcular los valores de la prueba estadística de una muestra aleatoria de tamaño "n".

6. Rechazar la hipótesis nula (H_o) si el estadígrafo tiene un valor en la región crítica y no rechazar (aceptar)= en el otro caso.

4.4.1 Formulación de hipótesis estadísticas

Hipótesis general.

Ha: La bacteria *Staphylococcus sp* aislado del botadero de Ascensión - Huancavelica degrada el polietileno de baja densidad (LPDE)

Ha: P > 0 %

Ho: La bacteria *Staphylococcus sp* aislado del botadero de Ascensión - Huancavelica no degrada el polietileno de baja densidad (LPDE)

Ha: P ≤ 0 %

4.4.2 Nivel de significación

El nivel de significación es la representación de la investigación con la que se trabajó por lo que lo más aceptable es trabajar con un error de 5 %; es decir: $\alpha = 0.05$, por lo que el error del trabajo no debe ser mayor al planteado y con un grado de confianza de 95 %, es decir con $1- \alpha = 0.095$.

4.4.3 Estadístico de prueba

(Sampieri, 2010). El estadístico de prueba utilizado fue el "Análisis de varianza que es una prueba estadística para analizar si más de dos grupos difieren significativamente entre sí en cuanto a sus medias y varianzas".

Para determinar cuál de los tratamientos es más eficiente se utilizó la prueba de medias de Tukey.

4.4.4 Valor crítico y regla de decisión

Para la prueba de una cola con α=0.05 en la tabla de Fisher tenemos los valores críticos de F, α, V_1, V_2.

$K - 1 = 3 - 1 = 2$

$K(n - 1) = 2(8 - 1) = 14$

$F\ tabla = 2/14\ =\ 4.867$

$Fcal \leq$ que el valor del F de la tabla se acepta la hipótesis nula

$Fcal \geq$ que el valor del F de la tabla se rechaza la hipótesis nula.

4.4.5 Cálculo de los estadígrafos de prueba análisis de varianza (ANOVA) para la bacteria *Staphylococcus sp* aislado del botadero de Ascensión - Huancavelica degrada el polietileno de baja densidad (LPDE)

Se realizó el análisis de varianza para la biodegradación de polietileno de baja densidad (LPDE). El tratamiento de la temperatura optima (37, 20 y 15 °C). Presentaron efecto significativo (P < 0.05).

Tabla 12

Análisis de varianza (ANOVA) para biodegradación de polietileno

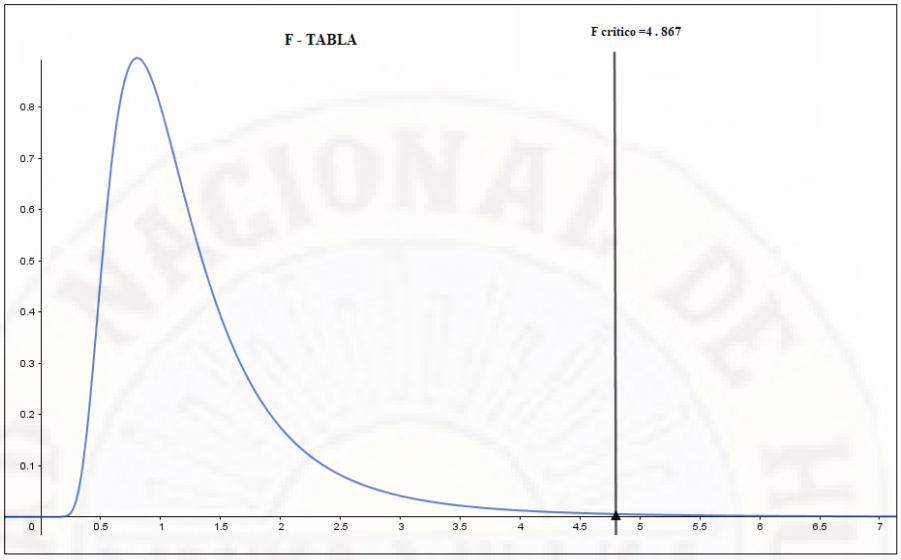
Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	16.75291469	8.37645735	45.85	<.0001
Error	21	3.83637158	0.18268436		
Total corregido	23	20.58928627			

Nota. F: pruebas de Fisher, ***: significativo, ns: no significativo.

Elaboración propia

Gráfico 1

Grafica del valor crítico y el valor de Fisher



Nota. Mi valor F calculado es igual a 45.85 >que el valor de F de la tabla igual 4.867.

Elaboración propia

4.4.6 Pruebas de medias de Tukey para la biodegradación de polietileno de baja densidad (LPDE)

El presente análisis es una comparación de medias de Tukey a un nivel de significancia de alpha 0.05, para el cual presenta diferencia estadística de las temperaturas (°C), (27, 20 Y 15) en la biodegradación de polietileno de baja densidad (LPDE) producido por la bacteria *Staphylococcus sp*. Se puede observar que existen diferencias estadísticas entre las biodegradaciones de polietileno de baja densidad como máximo valor se obtuvo 2.16^{a} % de la temperatura de 37 °C. Con respecto a la diferencia mínima significativa (delta) 0.53 los menores valores de biodegradación se obtuvieron 0.52^{b} y 0.29^{b} con temperaturas de 20 y 15 °C respectivamente.

Tabla 13

Prueba de medias de Tukey

Tukey Agrupamiento	Media	N	TEMPERATURA
A	2.1687	8	37

Tukey Agrupamiento	Media	N	TEMPERATURA
B	0.5214	8	20
B	0.2934	8	15

Nota. (A y B) son promedios (medias) dentro de columnas con letras diferentes difieren entre si según la prueba de Tukey ($p<0.05$). "A" son promedios (medias) dentro de columnas con letras iguales no difieren entre si según la prueba de Tukey ($p>0.05$). Elaboración propia

4.4.7 Decisión estadística hipótesis

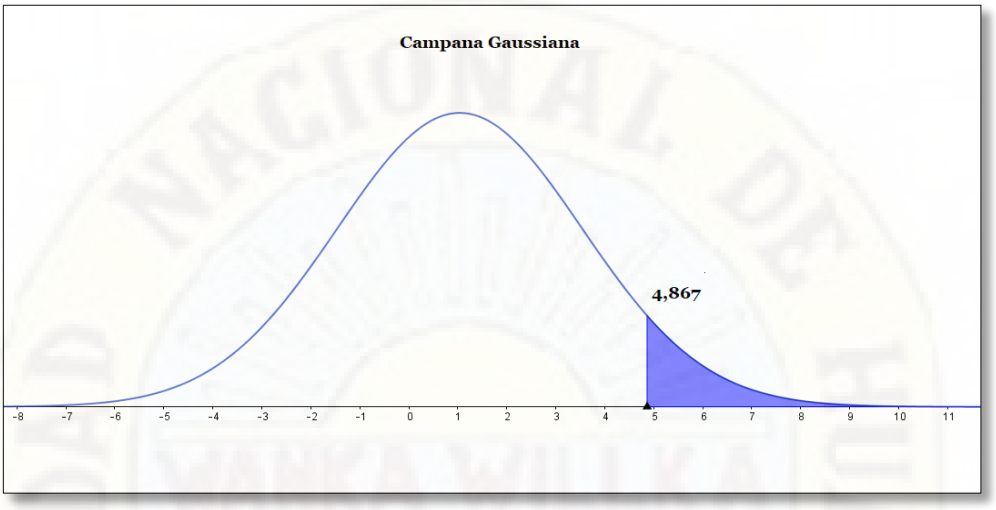
Rechazo la hipótesis nula (Ho) y acepto la hipótesis alterna (Ha) porque existe significancia además de la prueba de medias se determinó que 2.16 % de biodegradación con una temperatura de 37 °C, por lo tanto, se afirma que Ha la bacteria *Staphylococcus sp* aislado del botadero de Ascensión - Huancavelica degrada el polietileno de baja densidad (LPDE). Demostrando que existe mayor significación en biodegradación a 0 % en (LPDE), para validar el grado de significancia estadística un alfa de 0.05 %.

4.5 Campana de Gauss

Es una representación gráfica de la distribución normal de los datos de la biodegradación del polietileno, los cuales se reparten en tres familias: bajos, medianos y altos. De esta manera, se crea un gráfico de forma acampanada y simétrica. Su punto máximo indica la media del conjunto de datos; a ambos lados tiene dos puntos de inflexión, como se observa en la siguiente figura.

Figura 13

Campana de Gauss



Nota. Campana de Gauss, señala la regla de decisión de la hipótesis de investigación. Elaboración propia

Decisión:

Rechazo la hipótesis nula (Ho) y acepto la hipótesis alterna (Ha) porque existe significancia además de la prueba de medias se determinó que 2.16 % de biodegradación con una temperatura de 37 °C, por lo tanto, se afirma que Ha la bacteria *Staphylococcus sp* aislado del botadero de Ascensión - Huancavelica degrada el polietileno de baja densidad (LPDE). Demostrando que existe mayor significación en biodegradación a 0 % en (LPDE), para validar el grado de significancia estadística un alfa de 0.05 %.

DISCUSIÓN

Durante los últimos 3 meses, se observó las muestras de polietileno pequeñas partículas tenues sobre las superficies del polietileno de baja densidad (LPDE) evidenciando un posible ataque microbiano. Se realizó el análisis de biodegradación del polietileno de baja densidad (LPDE) producido por la bacteria *Staphylococcus sp* se observó la degradación del polietileno de baja densidad en un 2.16 % a una temperatura de 37 °C, aislado del botadero del distrito de Ascensión Huancavelica, según (Rajesh et al., 2017) y (Christi et al., 2007) Su eficacia en la degradación de bolsas de polietileno comerciales fueron superiores a nuestro trabajo el resultado que obtuvieron en términos de pérdida de peso media a 37 °C en un período de ocho semanas, con respecto a las bases en los criterios de (Muller et al., 1993) no se ha tenido grandes diferencias con el trabajo realizado.

Este estudio afirma que la cepa bacteriana aislada del botadero del distrito de Ascensión tiene la capacidad de degradar el polietileno de baja densidad (LPDE), en un 0.52 % a una temperatura de 20 °C. Según (Alejandra y Martín, 2017) en el trabajo que realizaron obtuvieron resultados mayores en comparación del presente trabajo que de acuerdo a las bases en los criterios de (Milstein et al., 1994).

La biodegradación del polietileno de baja densidad (LPDE) producto de la bacteria *Staphylococcus sp*. Se observa una biodegradación de 0.29 % a una temperatura de 15 °C, aislado del botadero del distrito de Ascensión Huancavelica. (Sandra et al., 2017; Vijaya & Mallikarjuna, 2008) en su reporte con compostaje de películas de polietileno durante 4 meses no mostró ninguna degradación con respecto a las bases en los criterios de (Begum etal., 2015), obtuvieron una biodegradación a 15 °C superior a nuestro trabajo que si bien es menor, es un resultado significativo para las condiciones en las que se desarrolló la prueba.

De los resultados que se ha obtenido en la presente investigación muestra que en 90 días calendarios se ha obtenido resultados de biodegradación del polietileno de baja densidad bolsas plásticas). Siendo esto una alternativa mucho mejor para la biodegradación del polietileno de baja densidad que el hongo

pestalotiopsis microspora, ya que Barja (2016) En sus resultados nos dice que el hongo pestalotiopsis microspora no pudo degradar el polietileno la baja densidad en 90 días que duró la muestra en el laboratorio.

Por otra parte, el grosor del polietileno es un factor que puede modificar la velocidad de la degradación, ya que se ha comprobado que entre más delgado es, mucho más rápido se degradará (Kathiresan, 2003). En los cultivos realizados, se utilizó como una única fuente de carbono, el polietileno de baja densidad (PEBD); sin embargo, en el primer cultivo, se empleó, además del PEBD como fuente de carbono, un porcentaje pequeño (0,02%) de extracto de levadura en el medio de cultivo. La incorporación de este nutrimento se llevó a cabo debido a que, anteriormente, fue probado por otros autores con muy buenos resultado en el cultivo (Méndez et al., 2007; Uribe et al., 2010). El extracto de levadura estimula el desarrollo de los consorcios, así como su adaptación para la colonización del polímero generando la biopelícula. Esta estrategia, aplicada solamente en los cultivos iníciales, permitió recuperar los consorcios microbianos, generándose una mayor biomasa necesaria para ser utilizada posteriormente, como inóculo de los siguientes cultivos en los que se determinaría la capacidad para biodegradar el PEBD, donde este polímero fue la única fuente de carbono para los consorcios.

En la investigación que realizó Pandey (2014) se centró en el aislamiento de bacterias degradantes del polietileno encontrados en la basura, encontró bacterias como E.coli, Staphylococcus sp., Pseudomonas sp., Klebsiella sp. y Bacillus sp. a diferencia a la presente investigación desarrollada por cultivo selectivo donde se encontró *Staphylococcus sp*en el agar Manitol Salado, además en los resultados que se obtuvieron de la investigación nos muestra que en 90 días calendarios se ha obtenido resultados de biodegradación del polietileno de baja densidad (bolsas plásticas). Siendo esto una alternativa para la biodegradación del polietileno de baja densidad que el *Bacillus cereus*, ya que Archana et al. (2017) En sus resultados nos dice que las bacterias *Staphylococcus sp* y *Bacillus cereus* biodegradaron 32.2 % y 9 % respectivamente, y resalta que el *Staphylococcus sp* se encuentra activo en polietileno degradante que el *Bacillus cereus* durante un periodo de 30 días

CONCLUSIONES

- Este estudio muestra que la temperatura es un factor importante para la degradación del polietileno de acuerdo a los resultados de la investigación realizada se corroboró la eficiente degradación del *Staphylococcus sp* a temperatura de 37 °C.
- El *Staphylococcus sp* no es muy eficiente en cuanto a la biodegradación del LPDE en temperatura de 15 °C a partir del presente estudio se deduce que estas bacterias pueden degradar el polietileno en un ambiente controlado. El polietileno de baja densidad es uno de los más grandes enemigos de la humanidad, en el presente estudio se concluye que si podemos aplicar estos al medio ambiente de una manera controlada para mitigar la contaminación ambiental.
- La máxima eficiencia de biodegradación que se ha obtenido con la bacteria *Staphylococcus sp* es en temperatura de 37 °C en 90 días calendarios, lo cual se alcanzó una biodegradación máxima de 2.8 % del polietileno de baja densidad (LPDE), teniendo en cuenta que este proceso se realizó a nivel de laboratorio.
- Los resultados obtenidos son de gran importancia, ya que el objetivo es determinar la eficiencia de biodegradación teniendo en cuenta los factores (temperatura y tiempo).

RECOMENDACIONES

- Se recomienda a los estudiantes de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad Nacional de Huancavelica interesados realizar nuevas investigaciones de biodegradación de polietileno de baja densidad (LPDE) con las bacterias aisladas del medio ambiente, con más factores como la temperatura y otras bacterias para una mayor degradabilidad del polietileno de baja densidad.
- Se recomienda a todas las personas quienes tratan con estas bacterias, estudiantes y trabajadores del sector público (trabajadores de limpieza) en sus diferentes presentaciones capacitar el manejo de la basura para así tener mucho cuidado en la manipulación por ser de carácter patológicas.
- Se recomienda realizar constantes monitoreos en los personales limpieza de las instituciones como también de las municipalidades en el proceso de recolección de residuos orgánicos y sólidos.

BIBLIOGRAFÍA

Acuña, N. (2017). *Revision bibliográfica sobre los microorganismos biodegradadores de polietileno de baja densidad y sus efectos en el material*. Universidad distrital Francisco Jose de Caldas. https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/5608/Acu%F1aMolinaNelsonRicardo2017.pdf;jsessionid=3E3509DD844FF57887B78421692060E7?sequence=1

Ambika, K., Ratnasri, P. V, Lakshmi, B. K. M., & Hemalatha, K. P. J. (2014). *Isolation of polythene degrading bacteria from marine waters of Viskhapatnam* , India. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, *3*(10), 269–283. https://www.ijcmas.com/vol-3-10/K.Ambika%20devi,%20et%20al.pdf

Amoah, J. (2016). *Isolation and characterisation of polythene.* University of Cape Coast, 1 (June), 37. https://www.researchgate.net/publication/336603579_ISOLATION_AND_CHARACTERIZATION_OF_POLYTHENE_DEGRADING_BACTERIA_FROM_GARBAGE_SOIL

Apostolou, N. (2020). *Los residuos plásticos del coronavirus contaminan el medio ambiente*. https://p.dw.com/p/3bYAi

Archana, B., Rajesh, M. and Samundeeswari, M. (2017). *Isolation of Polythene Degrading Bacteria From Garbage Soil.* International Journal of Recent Advances in Multidisciplinary Research, 04(09), 2813–2818.

Archana, B., Rajesh, M., & Samundeeswari, M. (2017). *Isolation of Polythene Degrading Bacteria From Garbage Soil.* International Journal of Recent Advances in Multidisciplinary Research, 04(09), 6. https://www.ijramr.com/sites/default/files/issues-pdf/1481.pdf

Barja, C. (2016). *La eficiencia del hongo Pestalotiopsis spp en la biodegradación de los tipos de plásticos (Poliuretano, polietileno de baja densidad y poliestireno de cristal), a nivel de laboratorio, 2016*. Universidad Cesar Vallejo. https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/817

Begum, M.; Varalakshmi, B.; Umamagheswari, K. (2015). *Biodegradation of Polythene Bag using Bacteria Isolated from Soil.* Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci, 4(11), 674–680.https://www.researchgate.net/publication/299584313_Biodegradation_of_Polythene_Bag_using_Bacteria_Isolated_from_Soil

Bilbao, A. (2015). *Desengancharse del plástico problemas de un material ubicuo*. Ecologistas en acción, 8 .http://ecologistasenaccion.org/article21000.html

Billmeyer, F. (2004). *Ciencia de los polímeros* - Fred W. Billmeyer - Google Libros (Editorial). http://scielo.sld.cu/pdf/ind/v30n1/ind07118.pdf

Bocanegra, C. K. (2020). *Gestión de los residuos sólidos en el Perú en tiempos de COVID – 19.* Agencia Internacional de Cooperación Del Japón, 77. http://www.digesa.sld.pe/publicaciones/descargas/MANUAL TECNICO RESIDUOS.pdf

Botre, S., Jadhav, P., Saraf, L., Rau, K., & Wagle, A. (2015). *Screening and Isolation of Polyethylene degrading Bacteria from various sources*. International Research Journal of Environment Sciences, 4(11), 58–61.

Butron, P. S. B. (2020). *Capacidad de Biodegradación de Pseudomonas aeruginosa frente al polietileno de baja densidad*. Universidad Nacional del Antiplano http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/13475

Caceres, O. (2012). *Biodegradacion bacteriana de polietileno de baja densidad bajo condiciones controladas en biorreactores airl lif* .Universidad Nacional Agraria de la Selva Facultad de Recursos Naturales Renovables. http://repositorio.unas.edu.pe /bitstream/handle/UNAS/356/T.AMB-2.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Calvo, P., & Zúñiga, D. (2010). *Caracterización fisiológica de cepas de bacillus spp. aisladas de la rizósfera de papa (solanum tuberosum).* Ecología Aplicada, 9(1), 9. http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v9n1/a04v9n1.pdf

Christi, K., Hatha, A., & Kumar, S. (2007). *Diversidad y eficacia de la microflora del suelo de los manglares tropicales sobre la degradación de las bolsas de transporte de polietileno.* Revista de Biología Tropical, 3–4.

Coreño, J., & Méndez, M. (2010). *Relación estructura-propiedades de polímeros.* Educación Química, 21(2010).

Deutsche, W. (2017). *Residuos plásticos y su impacto ambiental.* Universidad Nacional de Colombia, 35.

Divyalakshmi, S., & Subhashini, A. (2016). *Screening and Isolation of Polyethylene Degrading Bacteria from Various Soil Environments.* IOSR Journal of

Environmental Science, 10(12), 1–7. https://doi.org/10.9790/2402-1012040107

Elika. (2017). *las bacterias*. National Human Genome Research Institute 3. https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Bacteria

Fernández, T. (200). *Polímeros conductores: sintesis, propiedades y aplicaciones electroquímicas.* Revista Iberoamericana de Polímeros , 1–32.

Goodenough, J. B. (2003). *La contaminación por plásticos está en todas partes*. Annual Review of MaterialsResearch,91 128.https://doi.org/10.1146/annurev.matsci. 33.022802.091651

Gutiérrez, A. (2019). *Biodegradación del polietileno de baja densidad utilizando hongos, bacterias y consorcios microbianos aislados del botadero municipal de Tacna*. http://repositorio.upt.edu.pe/bitstream/UPT/1269/1/Gutierrez-Alvarez-Ana.pdf

Gutiérrez, I. (2019). *Biodegradación de polietileno de baja densidad utilizando hongos, bacterias y consorcios microbianos aislados del botadero municipal de Tacna*. Universidad Privada de Tacna.

Ipekog, B., Boke, H., & CizerOzlem. (2007). *Assessment of material use in relation to climate in historical buildings.* SciencieDirect Journal, 42(2), 970–978.

Johnson, T. (2019). *What Is a Polymer.* The Editors of Encyclopaedia Britannica. https://www.britannica.com/science/polymer

Litterthub, M. (2019). *Impacto del abandono del plástico en la naturaleza. In Ecoembes El poder de la Colaboración.* https://proyectolibera.org/wp-content/uploads/2019/03/Impacto-de-los-plásticos-abandonados_LIBERA-def-1.pdf

Macarthur, E. (2018). *Informe: La nueva economía del plástico | Sirse*. SIRSE. http://sirse.info/informe-la-nueva-economia-del-plastico/

Martín, A. (2017). *Estudio preliminar de la biodegradación de plásticos por bacterias marinas*. 29.Universidad de la Laguna Departamento de Microbiologia.29. https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/5762/Estudio+preliminar+de+la+biodegradacion+de+plasticos+por+bacterias+marinas.pdf?sequence=1

Martín, Alejandra. (2017). In *Estudio preliminar de la biodegradación de plásticos por*

bacterias marinas. Facultad de ciencias Seccion de Biologia. https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/5762/Estudio preliminar de la biodegradacion de plasticos por bacterias marinas.pdf?sequence=1

Martínez, P. N. (2016). *Efectos de las Asociaciones Microbianas sobre la Degradabilidad del Polietileno de Baja Densidad.* Estudios e Investigaciones Del Saber Académico, 10, 13–18.

Milstein, O., Gersonde, R., Huttermann, A., Frund, R., Feine, H., Ludermann, H., Chen, J., & Meister, J. (1994). *Resonancia magnética infrarroja y nuclear evidencia de degradación en termoplásticos basados en productos forestales*.

Montoya, C. . Á. M. . R. G. (2010). *Degradación de mezclas almidón termoplástico (tps)/ polihidroxibutirato (phb) y almidón termoplástico (tps)/ polietileno de baja densidad (ldpe).* IBEROMET XI X CONAMET/SAM, 1–10.

Muller, R, H., F, W., R, B., & N, K. (1993). *Producción, propiedades, aplicación de Biosurfactantes.* Kosaric. N.

MundoPlast. (2018). *La producción mundial de plásticos creció un 3,16% en 2018*. MundoPlast.https://mundoplast.com/produccion-plasticos-2018/?fbclid=IwAR2mDOKUAqDhABjd0GWTxMr0bC1f8j4UwF_LvgPdlbCagRC7fYTyRYs_VfI

Oliveros, C. (2018). *Biodegradación de polietileno de tereftalato por microorganismos aislados de sitios de disposición final de residuos sólidos, Táchira, Venezuela*. Departamento de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional Experimental Del Táchira,*6*(2244–7334),7. https://steemit.com/steemstem/@lepapillonvzla/biodegradacion-de-polietileno-de-tereftalato-polyethyelene-terephthalate-biodegradation

Pandey, V., & Anbuselvi, S. (2014). *Study on Low Density Polyethene Degrading Bacteria from Polyethene Garbage*. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences, 5(1394), 1394–1398.

Prabhat, S., Bhattacharyya, S., Vishal, V., Kalyan, R. K., Vijai, K., Pandey, K. N., & Singh, M. (2013). *Studies on Isolation and Identification of Active Microorganisms during Degradation of Polyethylene /* Starch Film. 2(9), 83–85.

Pramila, R. (2011). *Biodegradation of low density polyethylene (LDPE) by fungi isolated from marine water– a SEM analysis*. African Journal of Microbiology Research, 5(28), 5013–5018. https://doi.org/10.5897/ajmr11.670

Rajesh, M., Samundeeswari, M., & Archana, B. (2017). *Isolation of Biosurfactant Producing Bacteria from Garbage Soil*. Journal of Applied y Environmental Microbiology, 5(2), 5. https://doi.org/10.12691/jaem-5-2-3

Redes, L. (2019). *¿Por qué es importante reciclar el plástico?* | Gestión de Residuos Valencia. https://www.leonardo-gr.com/es/blog/por-qu-es-importante-reciclar-el-pl-stico

Roca, I. (2005). *Estudio de las propiedades y aplicaciones industriales del polietileno de alta densidad (pead)*. 2009, 1–9.

Sandra, M.; Estupiñán, N.; Ávila, S. ., Orozco, L., Lorena, Y., Méndez, M., Liliana, S., Marín, M., Yaritza, Y., Puentes, O., & Del Pilar, A. (2017). *Aislamiento e identificación de pseudomonas sp. y aeromonas sp en aguas de piscinas públicas de Bogotá - Colombia* . Nova, 5.

Shukman, D. (2018). *El "preocupante" hallazgo de partículas de plástico en botellas de agua de 11 marcas diferentes* - BBC News Mundo. https://www.bbc.com/mundo/noticias-43411826

Torres, D. (2003). *El papel de los microorganismos en la biodegradación de compuestos tóxicos.* Ecosistema Revista Cientifica de Ecologia y Medio Ambiente, XII(2), 5.

Uribe, D., Giraldo, D., & Gutiérrez, S. (2010). *Biodegradación de polietileno de baja densidad por acción de un consorcio microbiano aislado de un relleno sanitario , Lima , Perú*. Facultad de Ciencias Biológicas UNMSM, 17(1), 133–136.

Vargas, R. (2009). *La investigación aplicada: Una forma de conocer las realidades con evidencia cientifica*. Revista Educación, 33(1), 155–165.

Vatseldutt, S., & Anbuselvi, S. (2014). *Isolation and Characterization of Polythene Degrading Bacteria from Polythene Dumped Garbage*. Department of Industrial Biotechnology, 25(38), 205–206.

Vijaya, C., & Mallikarjuna, R. (2008). *Impact of soil composting using municipal solid waste on biodegradation of plastics*. Indian Journal of Biotechnology, 7, 235–239.

Wijnand, W., & Bigaud, N. (2019). *Evaluación de la ingestión humana de plásticos presentes en la naturaleza Naturaleza sin Plástico :* 1–9. http://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/analsis_de_estudio_de_ingestion.pdf

ANEXOS

Glosario de términos

Biodegradación. - es un proceso gradual de descomposición o acumulación causado por seres vivos, los cuales llevan a un cambio químico y estructural de las sustancias o materiales orgánicos e inorgánicos contaminantes.

Biofilm. - Es una formación celular junto a los productos metabólicos de tales células que crecen en la superficie de un material o sustancia.

Biorremediación. - Es un tipo de biotecnología denominada biotecnología verde caracterizada por el uso de seres vivos o sus productos metabólicos para el control de contaminantes

Biosurfactantes. - Son un grupo heterogéneo de metabolitos secundarios, producidos por seres vivos, principalmente por hongos y bacterias. Estas moléculas tienen propiedades emulsificantes y dispersantes, disminuyen la tensión superficial del agua de 72 a 25 mN/m aproximadamente.

Biotecnología. - La biotecnología se define como: "Cualquier aplicación técnica que usa sistemas biológicos, organismos vivos o sus derivados, para fabricar o modificar productos o procesos para un uso específico". La biotecnología ha existido desde que la raza humana utilizó por primera vez la fermentación para hacer pan, queso y vino.

Fuente de carbono. - Es el material o sustancia que provee a los microorganismos de carbono, ejemplo: el polietileno.

Metabolito. - Producto bioquímico generado en el metabolismo celular.

Mineralización. - Acción natural de transformación de compuestos químicamente complejos a otros de poca o ninguna complejidad.

Monómero. - Una estructura mínima o básica que se puede unir para formar una cadena o macro estructura.

Olefina. - Compuestos químicos a base de carbono y que poseen enlaces dobles.

Polímero. - Es una macromolécula o aglomeración de muchos monómeros los cuales están unidos por enlace covalente.

Radicales libres. - Son especies que contienen electrones de valencia desapareados los cuales son bastante reactivos.

Termoplásticos. - son plásticos que son reformables o remoldeables cuando se les aplica una temperatura y presión.

Transición vítrea. - Se define como la temperatura a la cual un polímero amorfo (o la región amorfa de un polímero parcialmente cristalino) cambia de una situación de ser duro y relativamente quebradizo a una condición viscosa y gomosa.

Xenobiótico. - sustancia de origen antropogénico y que puede afectar negativamente a los seres vivos.

Cuadro figura y planos fotografía

Figura 14

Vista del perímetro del botadero de Ascensión

Nota. Primera área de disposición final del botadero de Ranracucho. Elaboración propia

Figura 15

Disposición final de residuos sólidos en el botadero

Nota. Residuos sólidos e inorgánicos procedentes del distrito de Ascensión. Elaboración propia

Figura 16

LPDE en estado de degradación (punto de recolección N°1)

Nota. Material Plástico en estado de degradación en la primera zona del botadero de Ranracucho. Elaboración propia

Figura 17

LPDE en estado de degradación (punto de recolección N°2)

Nota. Material plástico en estado de degradación en la primera zona del botadero de Ranracucho. Elaboración propia

Figura 18

LPDE en estado de degradación (punto de recolección N°3)

Nota. Material plástico de un costal en estado de degradación en la primera zona del botadero de Ranracucho. Elaboración propia

Figura 19

LPDE en estado de degradación (punto de recolección N°4)

Nota. Material plástico en estado de degradación del botadero de Ranracucho. Elaboración propia

Figura 20

LPDE en estado de degradación (punto de recolección N°5)

Nota. Material Plástico de en estado de degradación del botadero de Ranracucho. Elaboración propia

Figura 21

LPDE en estado de degradación (punto de recolección N°6)

Nota. Recojo de materiales plásticos en estado de desintegración del botadero de Ranracucho. Elaboración propia

Figura 22

LPDE en estado de degradación (punto de recolección N° 7)

Nota. Recojo de muestras en estado de degradación del botadero de Ranracucho. Elaboración propia

Figura 23

LPDE en estado de degradación (punto de recolección N° 8)

Nota. Muestra del material plástico en estado de degradación del botadero de Ranracucho. Elaboración propia

Figura 24

Recolección de polietilenos de baja densidad en aparente estado de degradación

Nota. Examinación del lugar de materiales plásticos en estado de degradación del botadero de Ranracucho. Elaboración propia

Figura 25

Investigadores con los equipos de protección personal en el área de estudio

Nota. Primer investigador con sus implementos de seguridad. Elaboración propia

Figura 26

Investigadores con los equipos de protección personal en el área de estudio

Nota. Segundo investigador con sus implementos de seguridad en el botadero de Ranracucho. Elaboración propia

Figura 27

Polietilenos en aparente estado de biodegradación en el botadero de Ascensión

Nota. Residuos plásticos en estado de degradación presentes en toda el área del botadero. Elaboración propia

Figura 28

Se selecciona los polietilenos en estado degradación

Nota. Selección de materiales en estado de degradación en algunas áreas. Elaboración propia

Figura 29

Laboratorio Central de la Universidad Nacional de Huancavelica

Nota. Laboratorio Central de Microbiología de la Universidad Nacional de Huancavelica. Elaboración propia

Figura 30

Desinfección de área de trabajo en el Laboratorio Central

Nota. Desinfección del área de trabajo. Elaboración propia

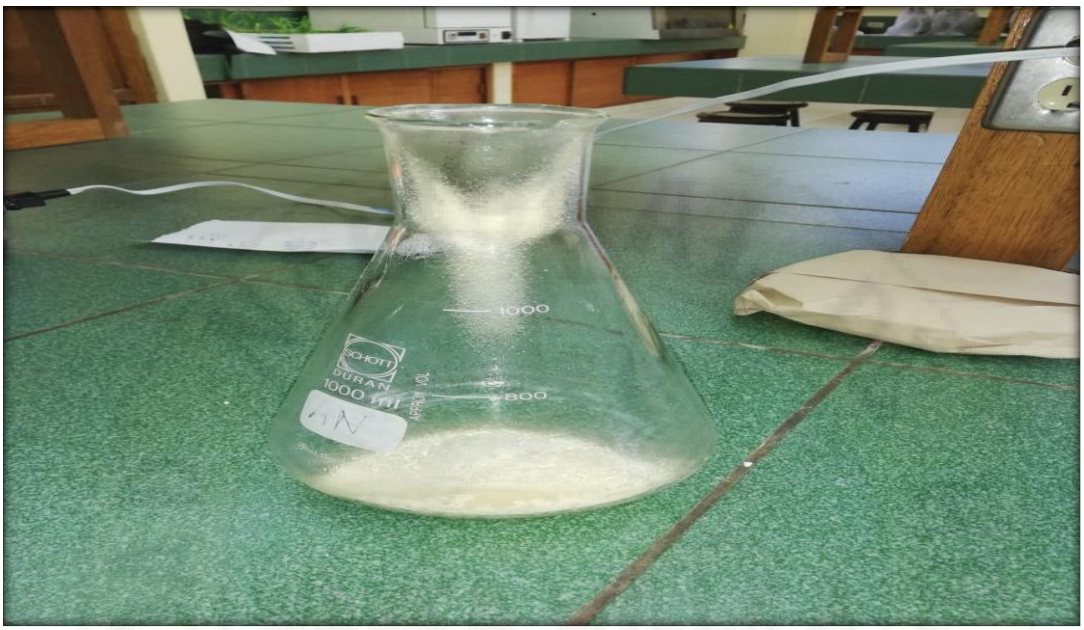
Figura 31

Polietileno de baja densidad en agua destilada estéril

Nota. Homogenización de muestras para el aislamiento de las bacterias biodegradadoras. Elaboración propia

Figura 32

Vertido del medio de cultivo agar Manitol Salado en matraz de Erlenmeyer



Nota. Medio de cultivo (Manitol Salado). Elaboración propia

Figura 33

Probeta de 500 ml de agua destilada para la preparación de agar Manitol Salado

Nota. Preparación de la cantidad en ml del agar Manitol Salado. Elaboración propia

Figura 34

Tubos de ensayo en secado natural

Nota. Limpieza de los tubos de ensayo y secado al medio ambiente. Elaboración propia

Figura 35

Esterilización de placas petri (cubiertos por papel) en el horno

Nota. Esterilización de las placas petri en el horno. Elaboración propia

Figura 36

Preparación de caldo de cultivo con el docente especialista Microbiólogo

Nota. Preparación del medio de cultivo del agar Manitol Salado junto al especialista en microbiología. Elaboración propia

Figura 37

Preparación de caldo de cultivo por los tesistas

Nota. Preparación mediante agitación el medio de cultivo. Elaboración propia

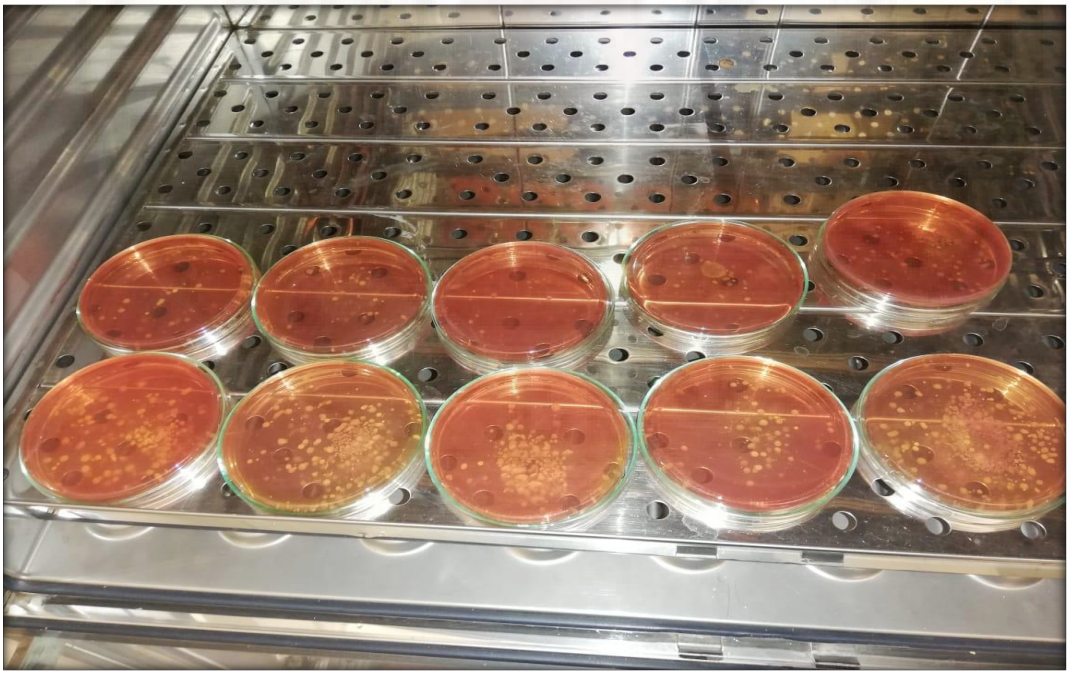
Figura 38

Preparación de caldo de nutriente para la siembra en agar Manitol Salado

Nota. Estado de reposo de la muestra para la siembra en medio de cultivo. Elaboración propia

Figura 39

Incubación de Staphylococcus sp en agar Manitol Salado durante 48 horas



Nota. Aparición de colonias de microorganismos biodegradadores del polietileno de baja densidad. Elaboración propia

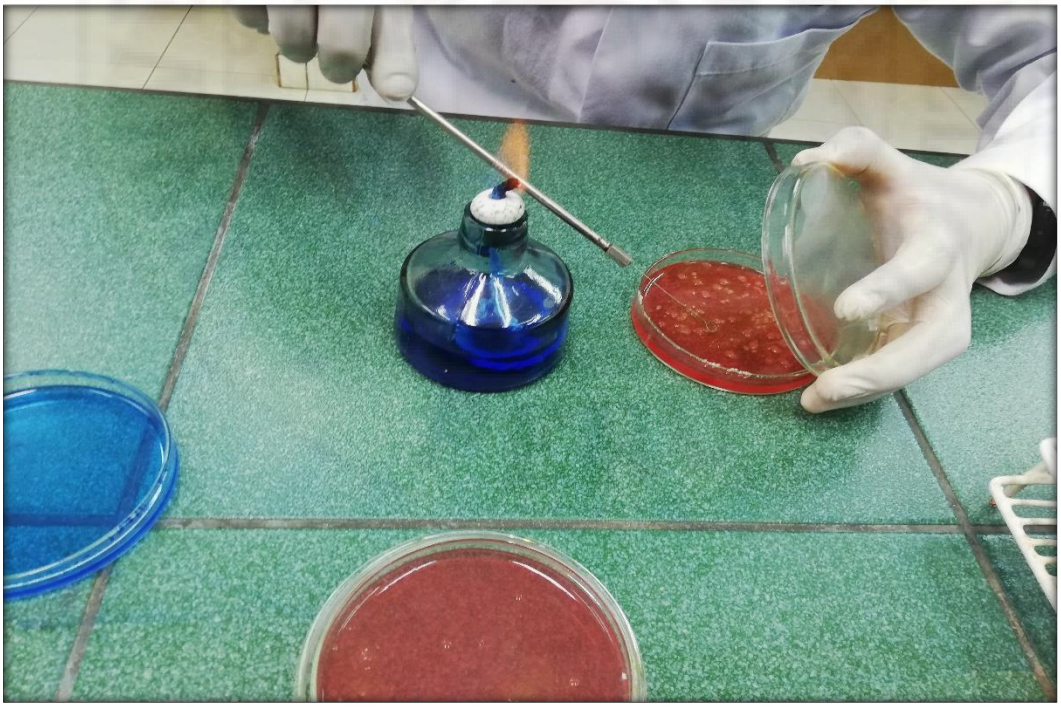
Figura 40

Crecimiento de bacterias Staphylococcus sp durante 48 horas

Nota. Presencias de unidades formadores de colonias. Elaboración propia

Figura 41

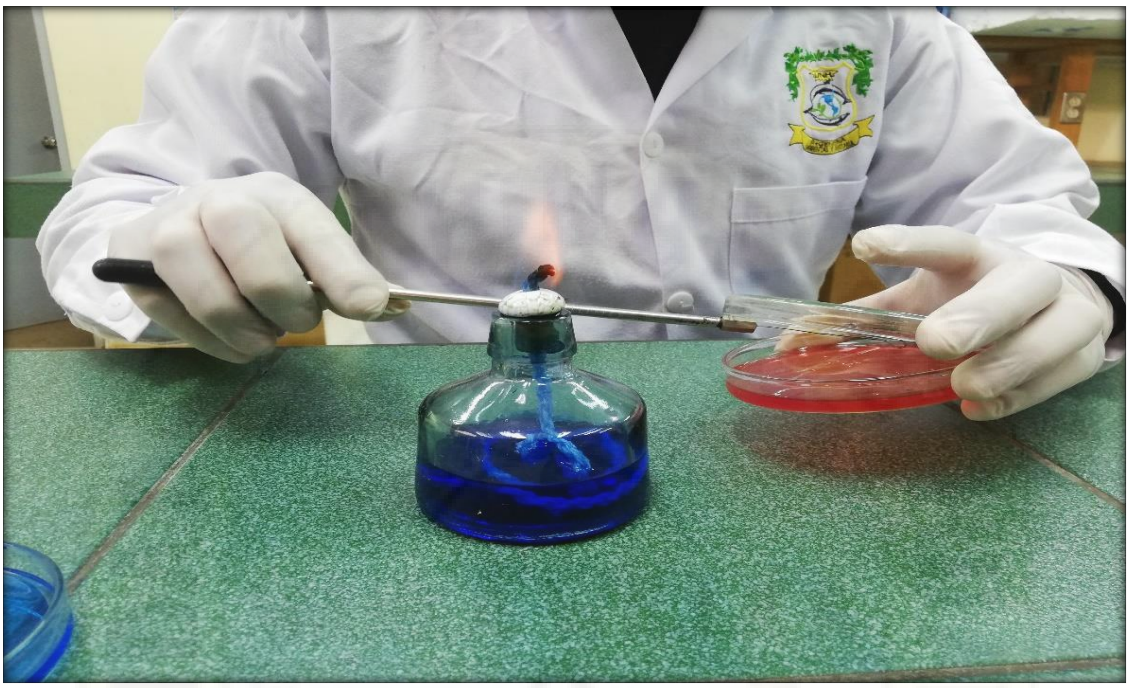
Extracción de Staphylococcus sp para la siembra selectiva en tubos de ensayo



Nota. Aislamiento de las bacterias de las unidades formadores de colonias. Elaboración propia

Figura 42

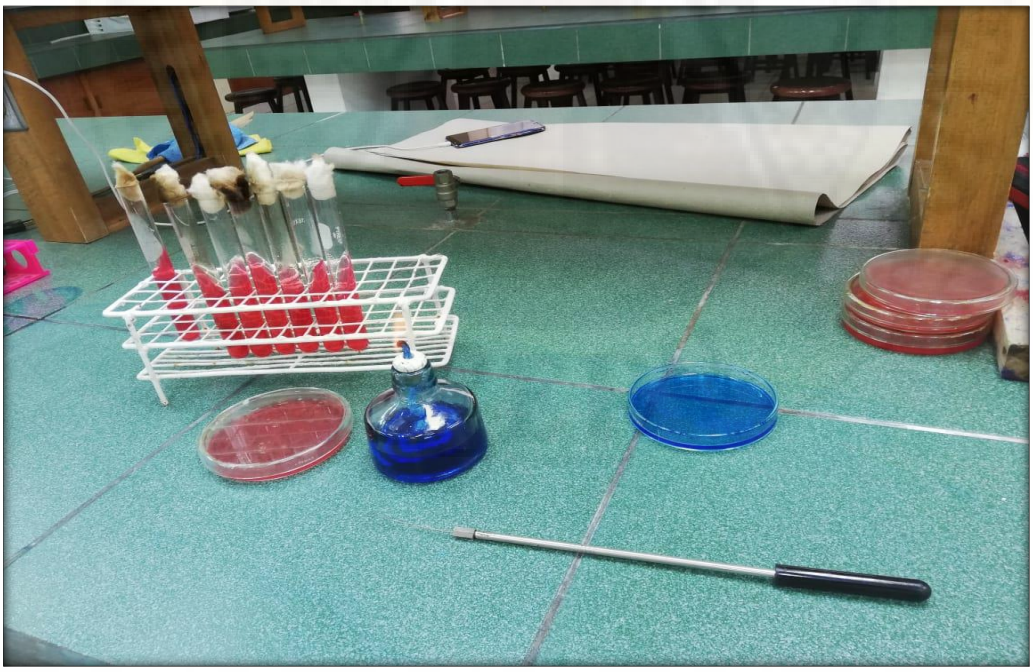
Siembra selectiva en tubos de ensayo con agar Manitol Salado



Nota. Extracción de las bacterias en estado de asepsia para que el medio no sea contaminado. Elaboración propia

Figura 43

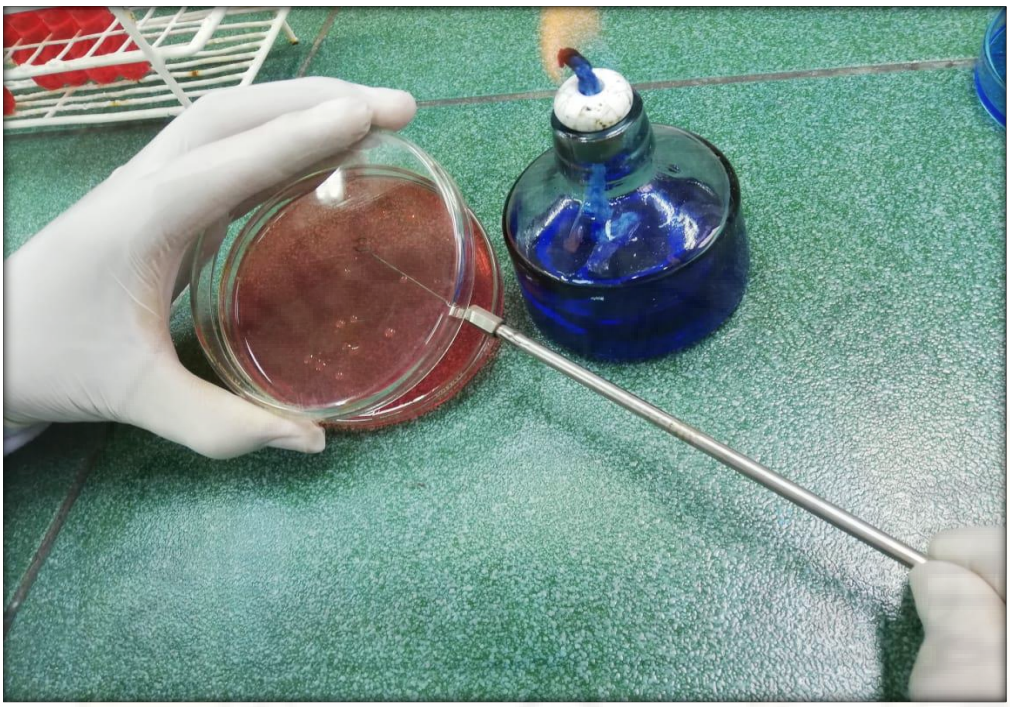
Tubos de ensayo con agar Manitol Salado para la siembra de Staphylococcus sp



Nota. Preparación de medio de cultivo en los tubos de ensayo. Elaboración propia

Figura 44

Extracción de Staphylococcus sp para la siembra selectiva



Nota. Extracción de bacterias para la siembra en los tubos de ensayo. Elaboración propia

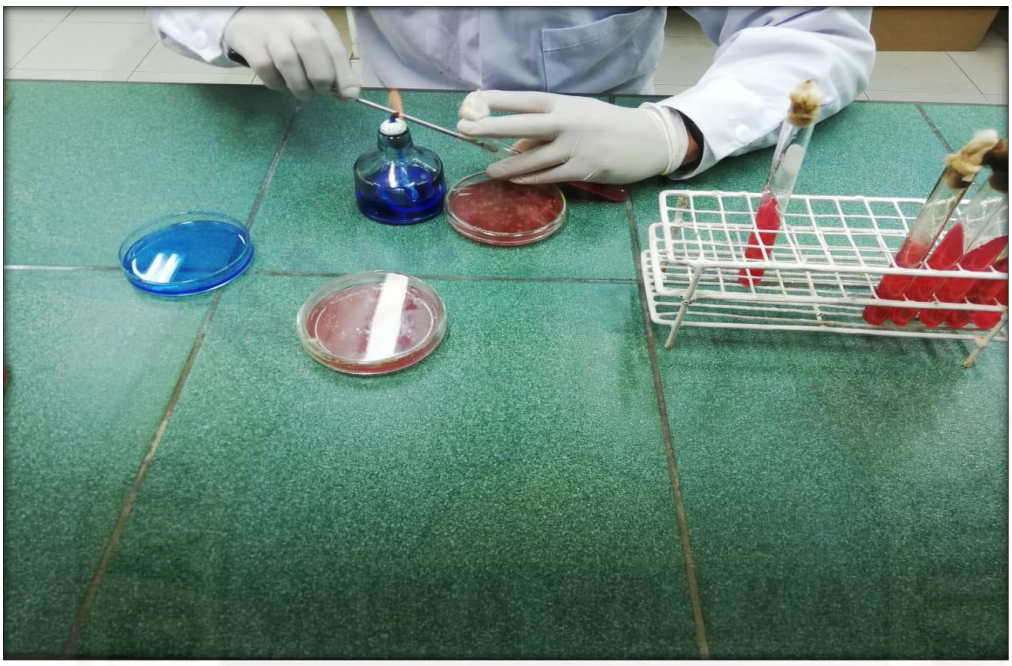
Figura 45

Siembra en forma inclinada con la técnica de siembra por estría ondulada

Nota. Siembra selectiva de las bacterias en los tubos de ensayo. Elaboración propia

Figura 46

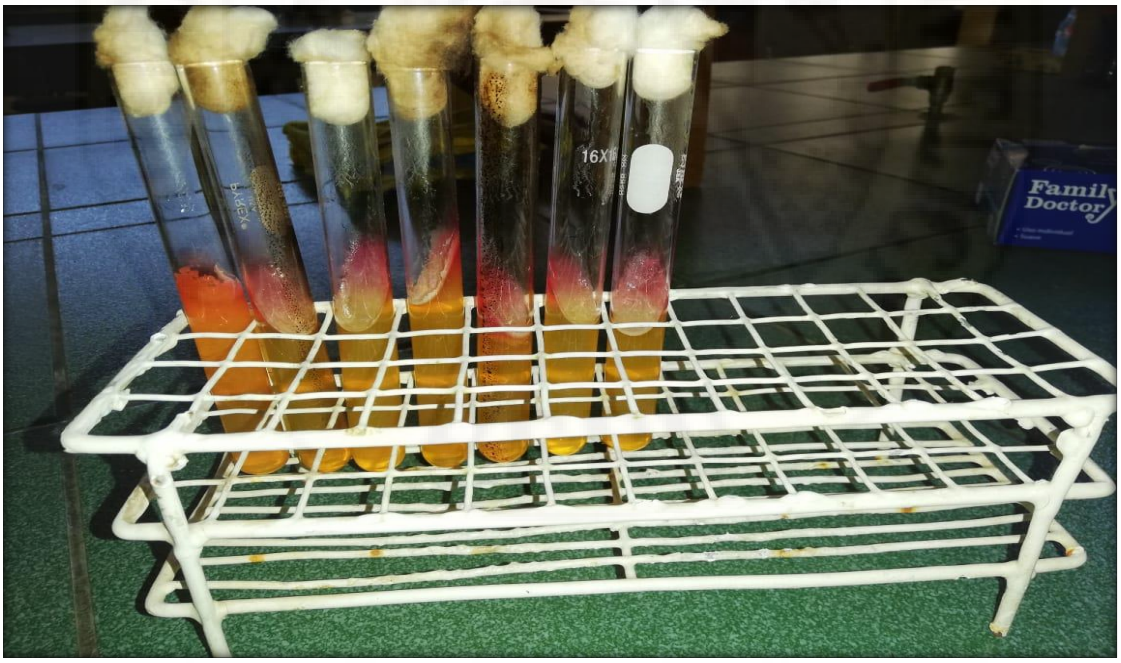
Siembra en los tubos por estría ondulada



Nota. Siembra selectiva de las bacterias en los tubos de ensayo en asepsia. Elaboración propia

Figura 47

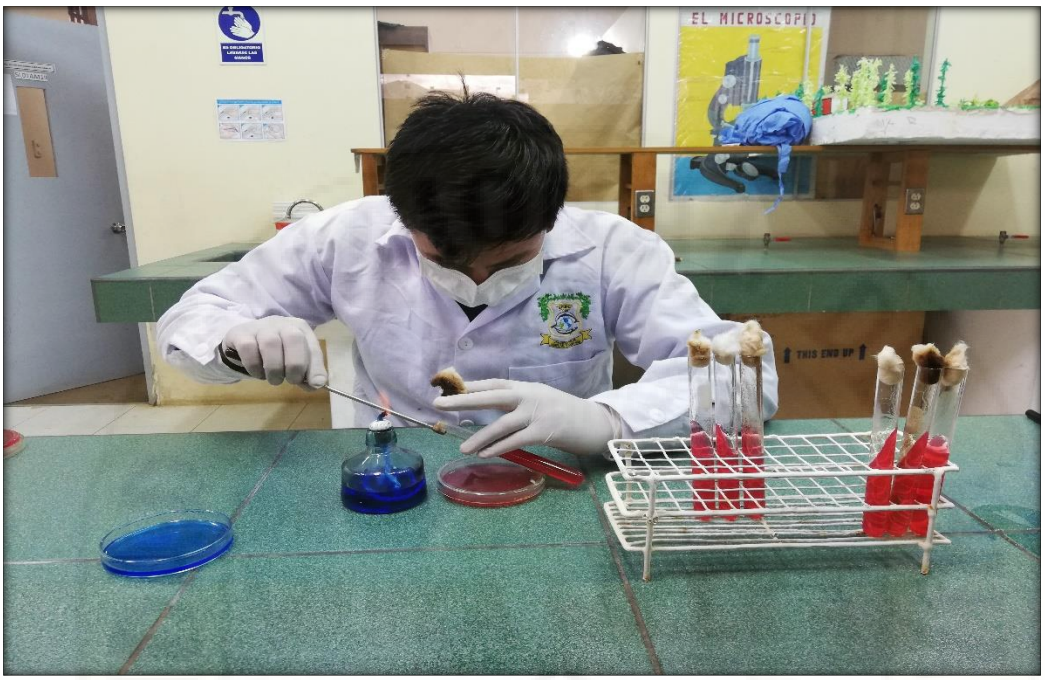
Tubos de ensayo con Staphylococcus sp en medio solido



Nota. Incubación de la siembra selectiva de las bacterias en los tubos de ensayo. Elaboración propia

Figura 48

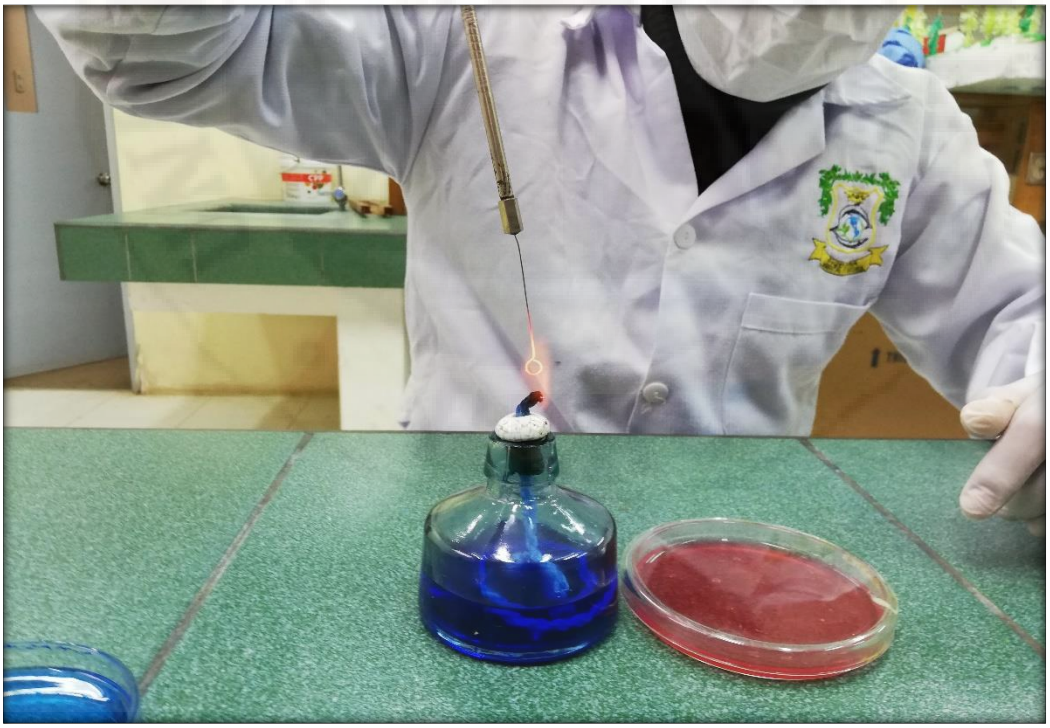
Esterilización de aza de siembra y extracción de Staphylococcus sp



Nota. Siembra selectiva de los microorganismos desintegradores del polietileno. Elaboración propia

Figura 49

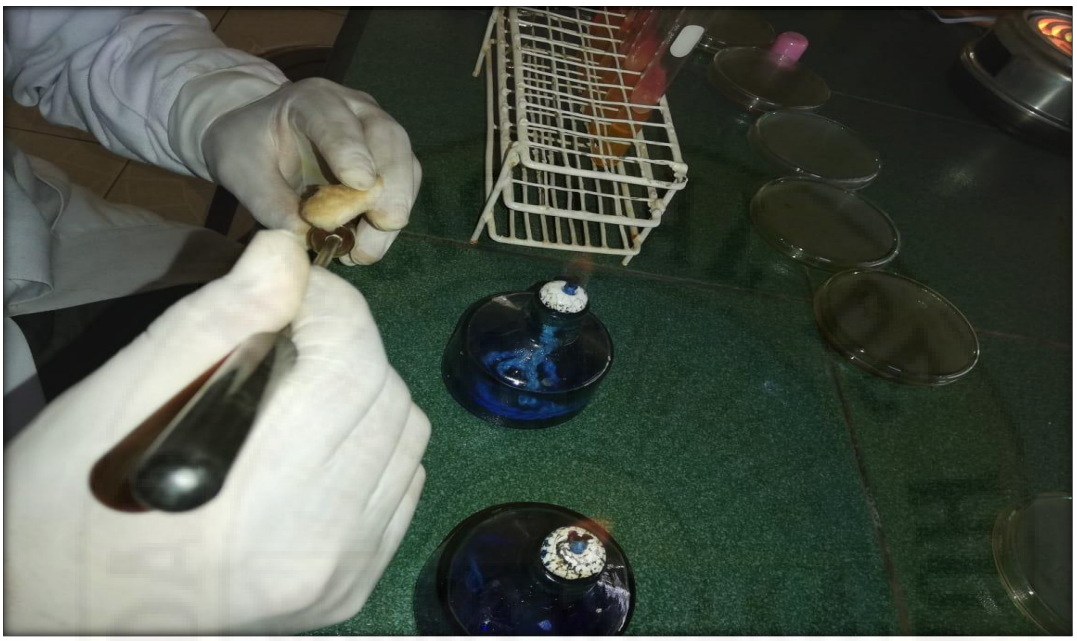
Esterilización de aza bacteriológica



Nota. Esterilización de la aza bacteriología. Elaboración propia

Figura 50

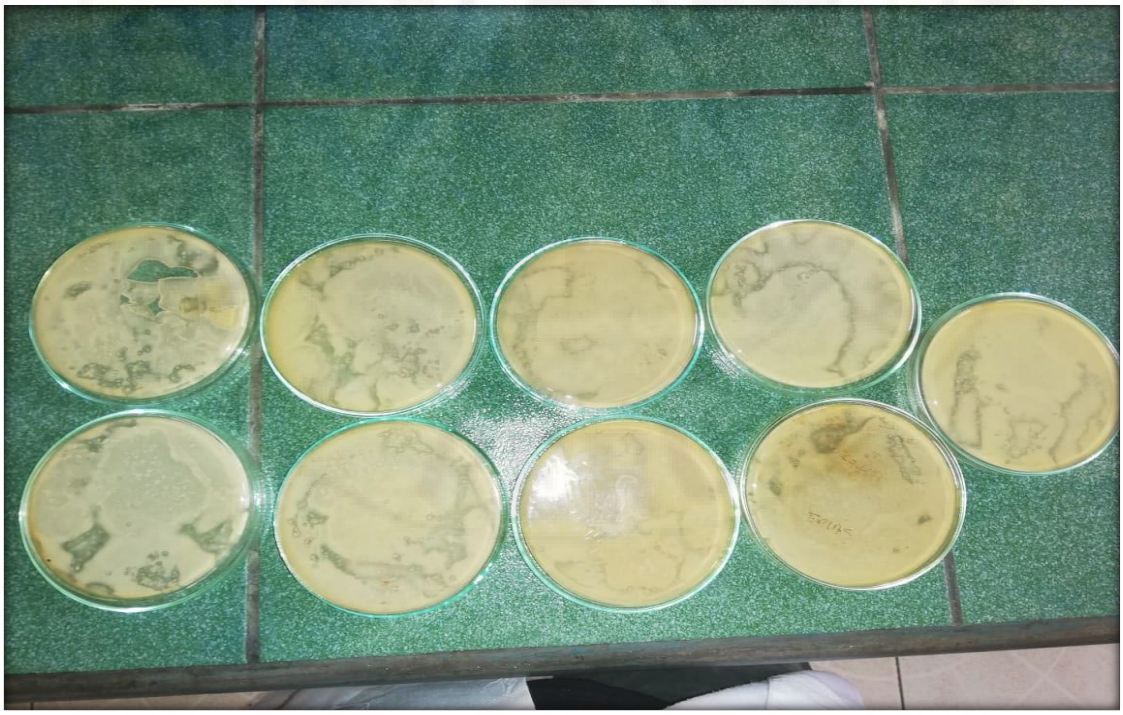
Extracción de la bacteria



Nota. Siembra selectiva de las bacterias en los tubos de ensayo en asepsia. Elaboración propia

Figura 51

Colonias de Staphylococcus sp



Nota. Unidades formadoras de colonias de las bacterias *Staphylococcus sp*. Elaboración propia

Figura 52

Turbidez de McFarland

Nota. Método de McFarland 2 de las bacterias como método de turbidez. Elaboración propia

Figura 53

Disolución de las bacterias

Nota. Extracción de las bacterias y uso en el método de MacFarland. Elaboración propia

Figura 54

Turbidez de McFarland de las bacterias

Nota. Extracción de las bacterias y uso en el método de MacFarland en todas las repeticiones. Elaboración propia

Análisis estadístico prueba de normalidad de los datos de biodegradación del polietileno de baja densidad (LPDE)

```
DATA FREDDY_ALEX;
INPUT BIODEGRADACION_LPDE;
CARDS;
2,38095
2,25564
1,65289
2,15827
2,25564
1,62602
1,65289
1,61290
0,83333
0,70423
0,89286
0,00000
0,86207
0,00000
0,83333
0,83333
0,77519
0,00000
0,00000
0,00000
0,00000
0,00000
0,00000
0,80645
PROC UNIVARIATE PLOT NORMAL DATA=FREDDY_ALEX;
VAR BIODEGRADACION_LPDE;
HISTOGRAM;
RUN;
```

Análisis estadístico prueba de normalidad de los datos de biodegradación del polietileno de baja densidad (LPDE)

```
DATA FREDDY_ALEX;
INPUT BIODEGRADACION_LPDE;
CARDS;
2.380952381
2.255639098
2.793650794
2.158273381
2.869565217
1.62601626
1.652892562
1.612903226
1.408450704
0.704225352
0.892857143
0
0.862068966
0
0.833333333
0.470588235
```

0.775193798
0.041666667
0.724137931
0
0
0
0
0.806451613

```
PROC UNIVARIATE PLOT NORMAL DATA=FREDDY_ALEX;
VAR BIODEGRADACION_LPDE;
HISTOGRAM;
RUN;
```

Tabla 14

Procedimiento Univariante

Sistema SAS

Procedimiento: Univariante
Variable: Biodegradación del polietileno de baja Densidad

Momentos			
N	24	**Sumar pesos**	24
Media	1.03620278	**Observ suma**	24.8688667
Desviación estándar	0.94121681	**Varianza**	0.88588908
Asimetría	0.5675755	**Curtosis**	-0.8212148
SC no corregida	46.1446375	**SC corregida**	20.3754488
Coef. variación	90.8332643	**Media error estándar**	0.19212508

Nota. Procedimiento univariable. Paquete SAS, (2020).

Tabla 15

Medidas estadísticas básicas

Medidas estadísticas básicas			
Ubicación		**Variabilidad**	
Media	1.036203	**Desviación estándar**	0.94122
Mediana	0.819892	**Varianza**	0.88589
Moda	0.000000	**Rango**	2.86957
		Rango Inter cuartil	1.61862

Nota. Prueba estadística. Elaboración propia

Tabla 16

Tests para posición

Tests para posición: Mu0=0				
Test	**Estadístico**		**p valor**	
T de Student	**t**	5.393376	**Pr > |t|**	<.0001
Signo	**M**	9	**Pr >= |M|**	<.0001
Puntuación con signo	**S**	85.5	**Pr >= |S|**	<.0001

Nota. Tests para posición. Elaboración propia

Tabla 17

Tests de normalidad

Tests para normalidad				
Test	**Estadístico**		**p valor**	
Shapiro-Wilk	**W**	0.893139	**Pr < W**	0.0854
Kolmogorov Smirnov	**D**	0.185524	**Pr > D**	0.0816
Cramer von Mises	**W-Sq**	0.128995	**Pr > W-Sq**	0.0835
Anderson Darling	**A-Sq**	0.846991	**Pr > A-Sq**	0.0847

Nota. Prueba de normalidad. Elaboración propia

Tabla 18

Test de cuantiles

Cuantiles (Definición 5)	
Nivel	**Cuantil**
100% Máx	2.8695652
99%	2.8695652
95%	2.7936508
90%	2.3809524
75% Q3	1.6394544
50% Mediana	0.8198925
25% Q1	0.0208333
10%	0.0000000
5%	0.0000000
1%	0.0000000

Cuantiles (Definición 5)	
Nivel	**Cuantil**
0% Mín	0.0000000

Nota. Prueba de cuantiles. Elaboración propia

Tabla 19

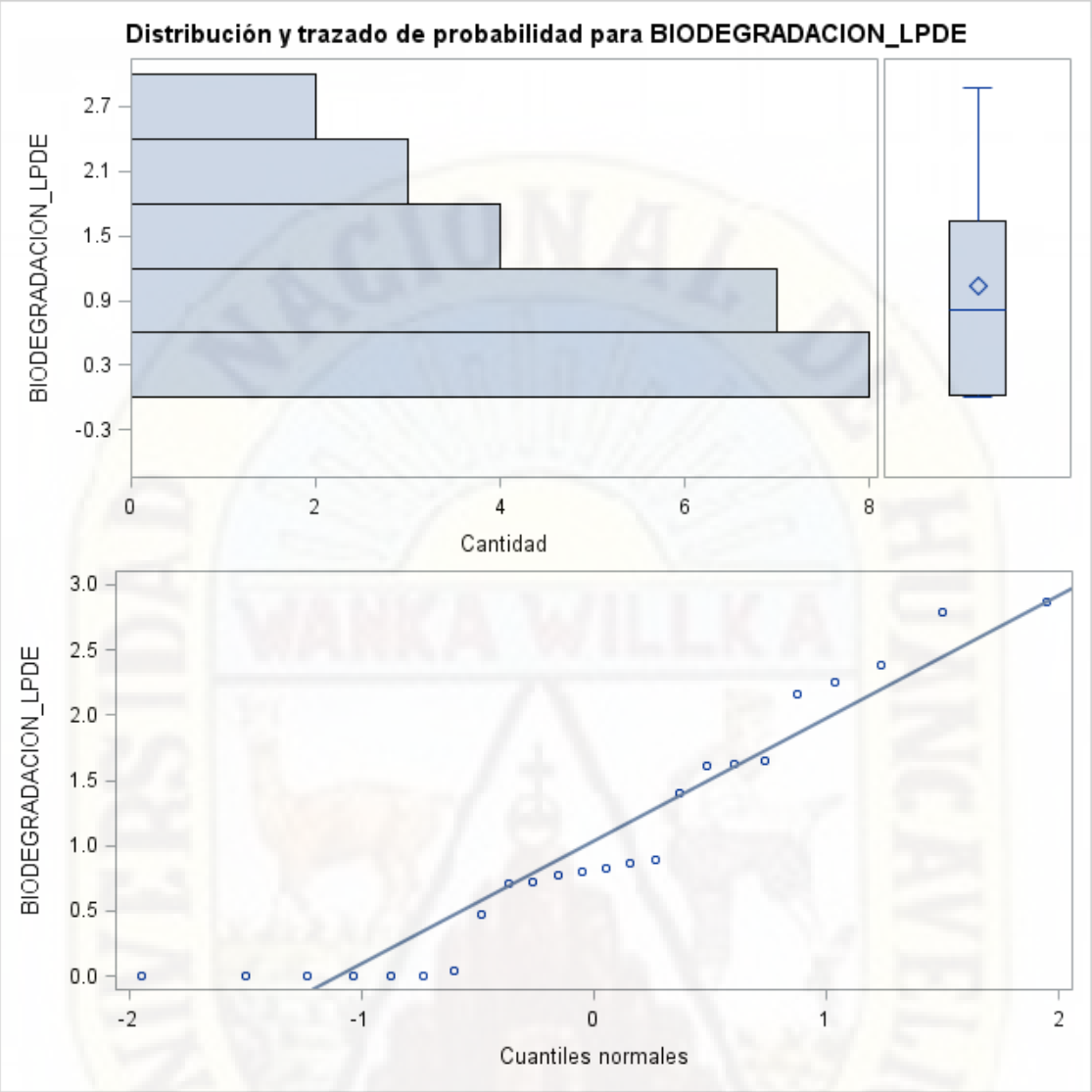
Tabla de observación de valores

Observaciones extremas			
Inferior		**Superior**	
Valor	**Observación**	**Valor**	**Observación**
0	23	2.15827	4
0	22	2.25564	2
0	21	2.38095	1
0	20	2.79365	3
0	14	2.86957	5

Nota. En la tabla se muestra los diferentes valores extremos . Elaboración propia

Figura 55

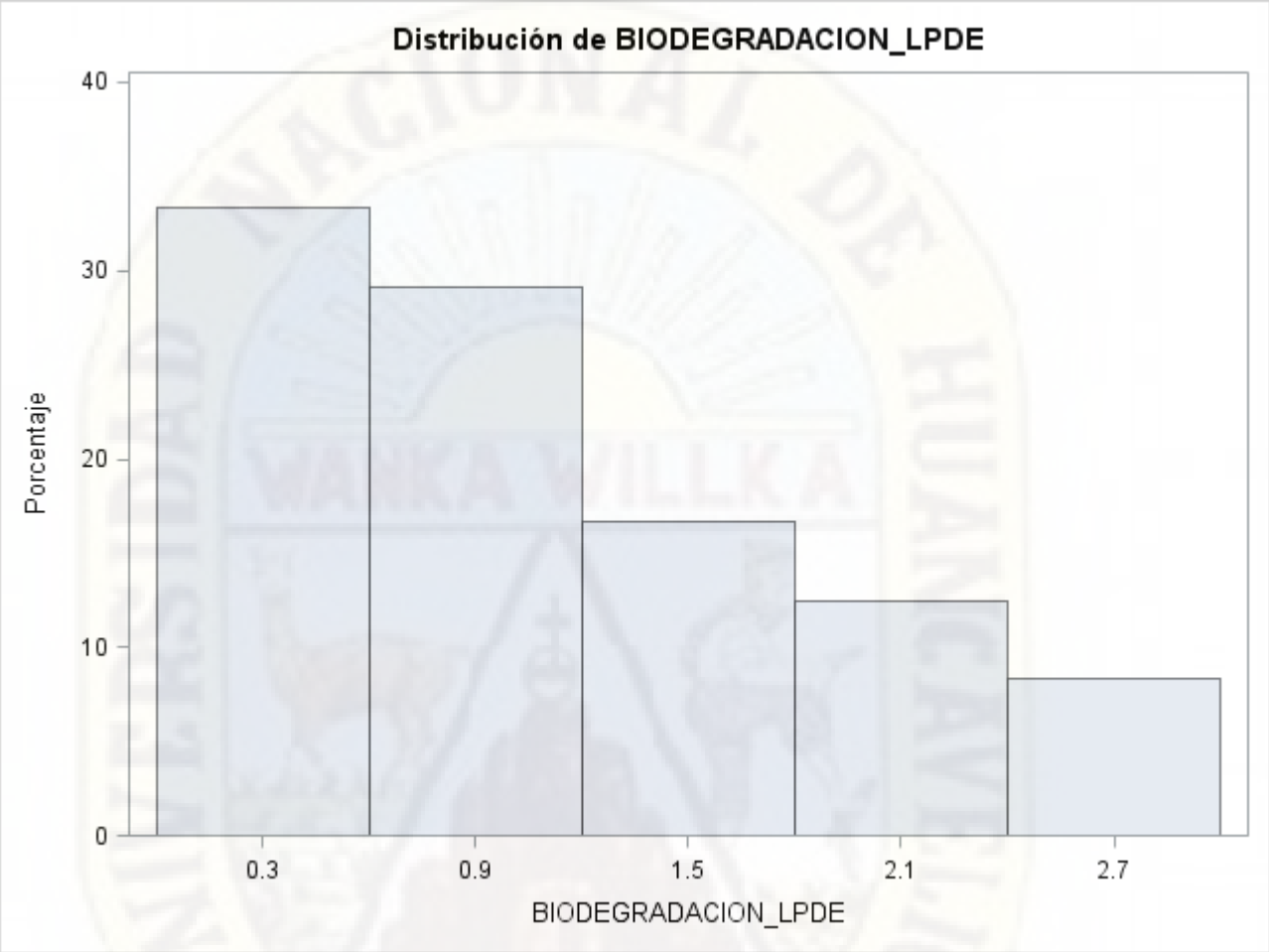
Distribución y trazado de probabilidad para la degradación de LPDE



Nota. En la imagen se muestra la distribución de probabilidad en la biodegradación del polietileno de baja densidad. Elaboración propia

Figura 56

Distribución de biodegradación de LPDE



Nota. En la imagen se muestra la distribución de biodegradación de LPDE. Elaboración propia

Análisis estadístico ANOVA para determinar la biodegradación del polietileno de baja densidad

```
DATA FREDDY_ALEX;
INPUT TEMPERATURA  $  REPET  BIODEGRADACION;
CARDS;
37      1       2.380952381
37      2       2.255639098
37      3       2.793650794
37      4       2.158273381
37      5       2.869565217
37      6       1.62601626
37      7       1.652892562
37      8       1.612903226
20      1       0.408450704
20      2       0.704225352
20      3       0.892857143
```

```
20      4       0
20      5       0.862068966
20      6       0
20      7       0.833333333
20      8       0.470588235
15      1       0.775193798
15      2       0.041666667
15      3       0.724137931
15      4       0
15      5       0
15      6       0
15      7       0
15      8       0.806451613
PROC ANOVA DATA = FREDDY_ALEX;
CLASS TEMPERATURA;
MODEL BIODEGRADACION = TEMPERATURA;
RUN;
MEANS TEMPERATURA/HOVTEST=OBRIEN;
MEANS TEMPERATURA/HOVTEST=BARTLETT;
MEANS TEMPERATURA/HOVTEST= BF;
MEANS TEMPERATURA/HOVTEST=LEVENE;
MEANS TEMPERATURA/TUKEY  ALPHA = 0.05;
MEANS TEMPERATURA/TUKEY  ALPHA = 0.01;
RUN;
```

Sistema SAS

Procedimiento ANOVA

Tabla 20

Información de clase

Información de nivel de clase		
Clase	**Niveles**	**Valores**
TEMPERATURA	3	15 20 37
Número de observaciones leídas	24	
Número de observaciones usadas	24	

Nota. En la imagen se muestra la distribución de probabilidad en la biodegradación del polietileno de baja densidad. Elaboración propia

Sistema SAS

Procedimiento ANOVA

Tabla 21

Variable dependiente

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	16.75291469	8.37645735	45.85	<.0001
Error	21	3.83637158	0.18268436		
Total corregido	23	20.58928627			

Nota. En la tabla se muestra la variable dependiente, la biodegradación del polietileno de baja densidad. Elaboración propia

Tabla 22

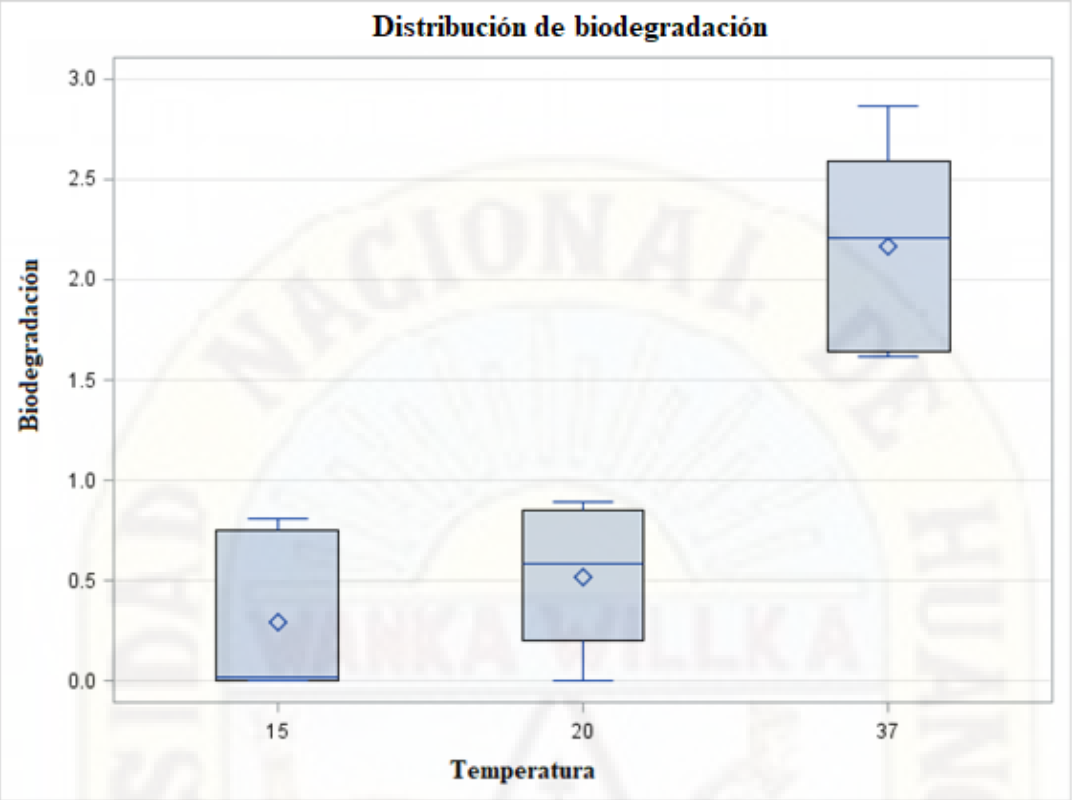
Variable dependiente

Polietileno de baja densidad	Coef Var	Temperatura	Biodegradación Media
3	42.97641	3	0.994536

Nota. En la tabla se muestra la biodegradación promedio del polietileno en las temperaturas expuestas, ANOVA SS

Figura 57

Distribución de biodegradación en cajas y bigotes



Nota. En la imagen se muestra la distribución de la biodegradación del polietileno de baja densidad. Elaboración propia

Procedimiento ANOVA

Tabla 23

Test de O´Brien para homogeneidad de varianza

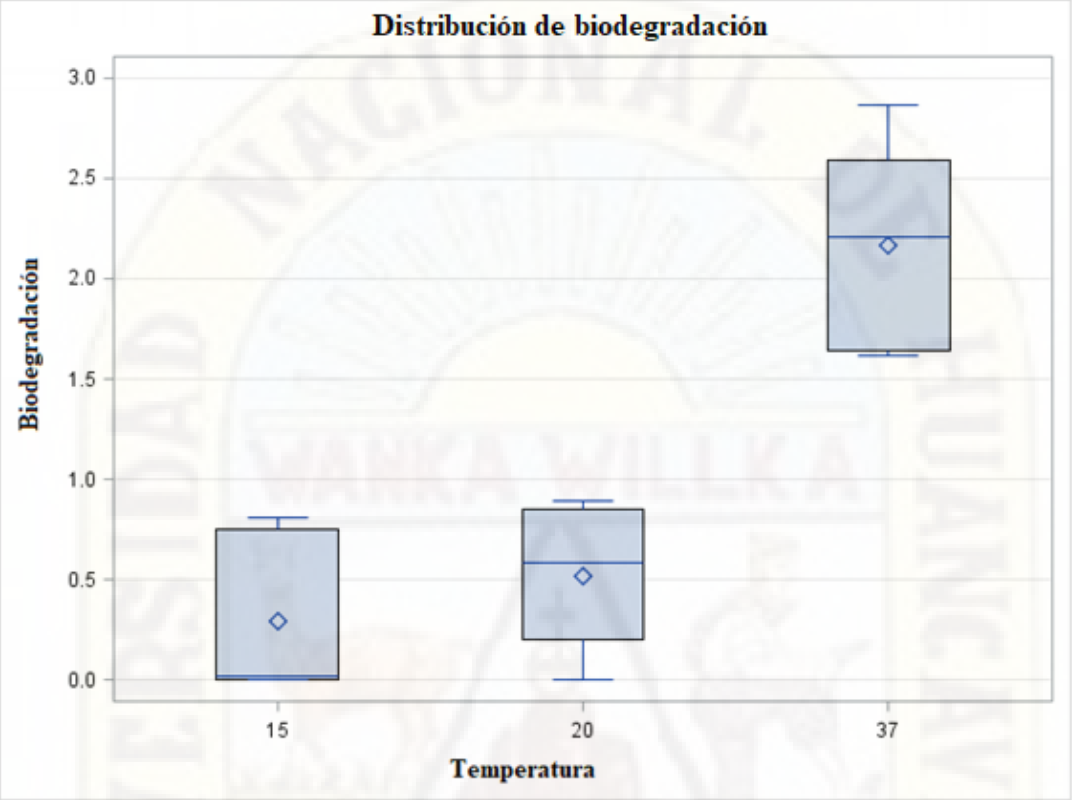
Test de O'Brien para homogeneidad de la varianza BIODEGRADACIÓN ANOVA de variable de extensión de O'Brien, W = 0.5

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TEMPERATURA	2	0.0693	0.0346	1.30	0.2936
Error	21	0.5594	0.0266		

Nota. En la tabla se muestra la homogeneidad de varianza de la biodegradación del polietileno de baja densidad. Elaboración propia

Figura 58

Distribución de biodegradación en cajas y bigote



Nota. En la imagen de caja y bigote se muestra la distribución de probabilidad en la biodegradación del polietileno de baja densidad. Elaboración propia

Tabla 24

Agrupación de medias

Nivel de TEMPERATURA	N	BIODEGRADACIÓN	
		Media	Dev std
15	**8**	0.29343125	0.39435051
20	**8**	0.52144047	0.36719371
37	**8**	2.16873661	0.50765100

Nota. Agrupación de medias de la biodegradación del polietileno de baja densidad. Elaboración propia

Procedimiento ANOVA

Tabla 25

Test de Bartlett

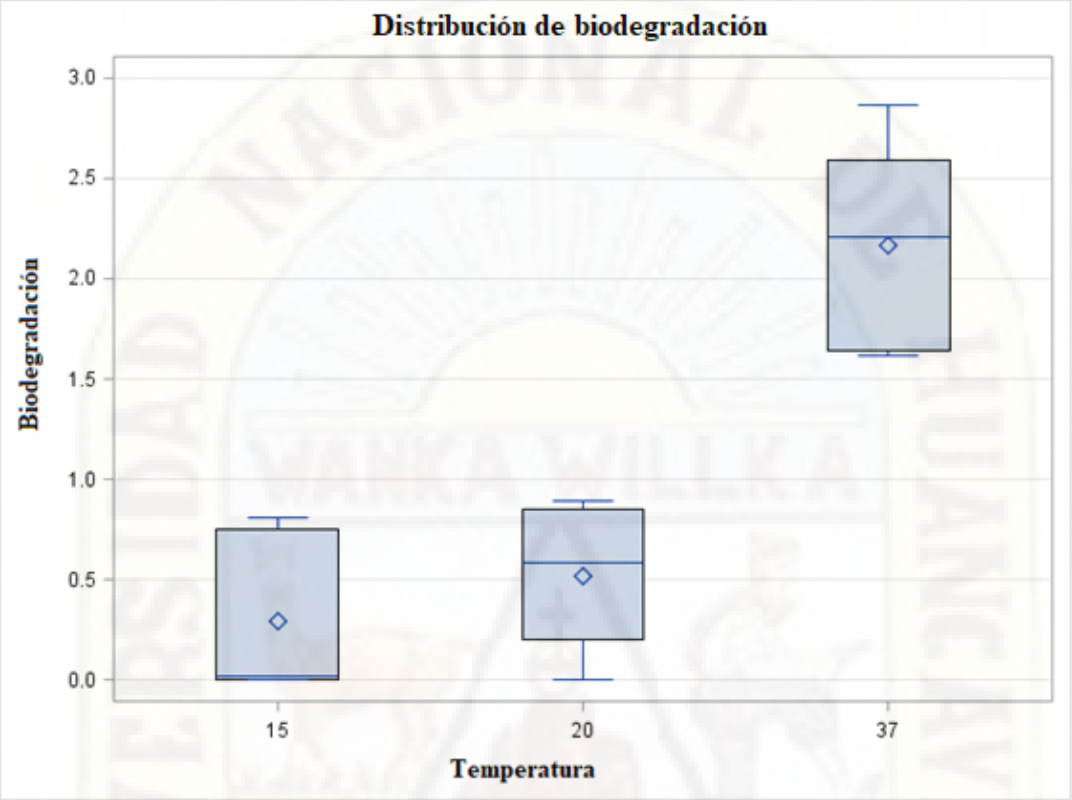
Test de Bartlett para la homogeneidad de la varianza de biodegradacion

Fuente	DF	Chi-cuadrado	Pr > ChiSq
TEMPERATURA	2	0.7944	0.6722

Nota. En la tabla se realizó el Test de Bartlett para la homogeneidad de varianza. Elaboración propia

Figura 59

Distribución de biodegradación en caja y bigote del polietileno de baja densidad



Nota. En la figura se realizó la distribución de cajas y bigotes. Elaboración propia

Tabla 26

Agrupación de medias y desviación estándar

Nivel de Temperatura	N	Boodegradación	
		Media	Dev std
15	**8**	0.29343125	0.39435051
20	**8**	0.52144047	0.36719371
37	**8**	2.16873661	0.50765100

Nota. En la tabla se realizó la agrupación de medias y desviación estándar. Elaboración propia

Procedimiento ANOVA

Tabla 27

Test de Brown y Forsythe para la homogeneidad de varianza

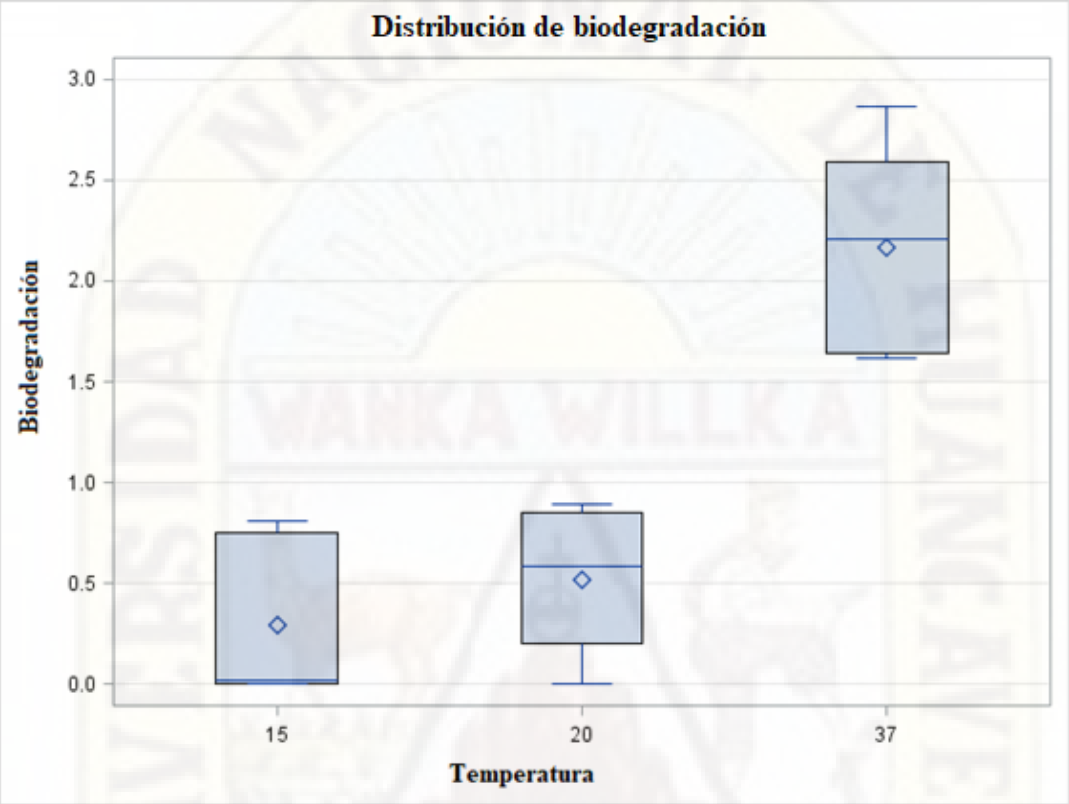
Test Brown y Forsythe para la homogeneidad de la varianza Biodegradación
ANOVA de desviaciones absolutas de las medianas de grupo

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TEMPERATURA	2	0.0632	0.0316	0.38	0.6874
Error	21	1.7404	0.0829		

Nota. En la tabla se realizó el Test de Brown y Forsythe para la homogeneidad de varianza. Elaboración propia

Figura 60

Distribución de biodegradación de acuerdo a Test de Brown y Forsythe en cajas y bigotes



Nota. En la figura se muestra la gráfica de cajas y bigotes de acuerdo a Brown y Forsythe. Elaboración propia

Tabla 28

Agrupación de medias y desviación estándar de acuerdo a Brown y Forsythe

Nivel de Temperatura	N	Biodegradación	
		Media	Dev std
15	**8**	0.29343125	0.39435051
20	**8**	0.52144047	0.36719371
37	**8**	2.16873661	0.50765100

Nota. En la tabla se realizó la agrupación de medias y desviación estándar. Elaboración propia

Procedimiento ANOVA

Tabla 29

Test de Levene para homogeneidad de varianza

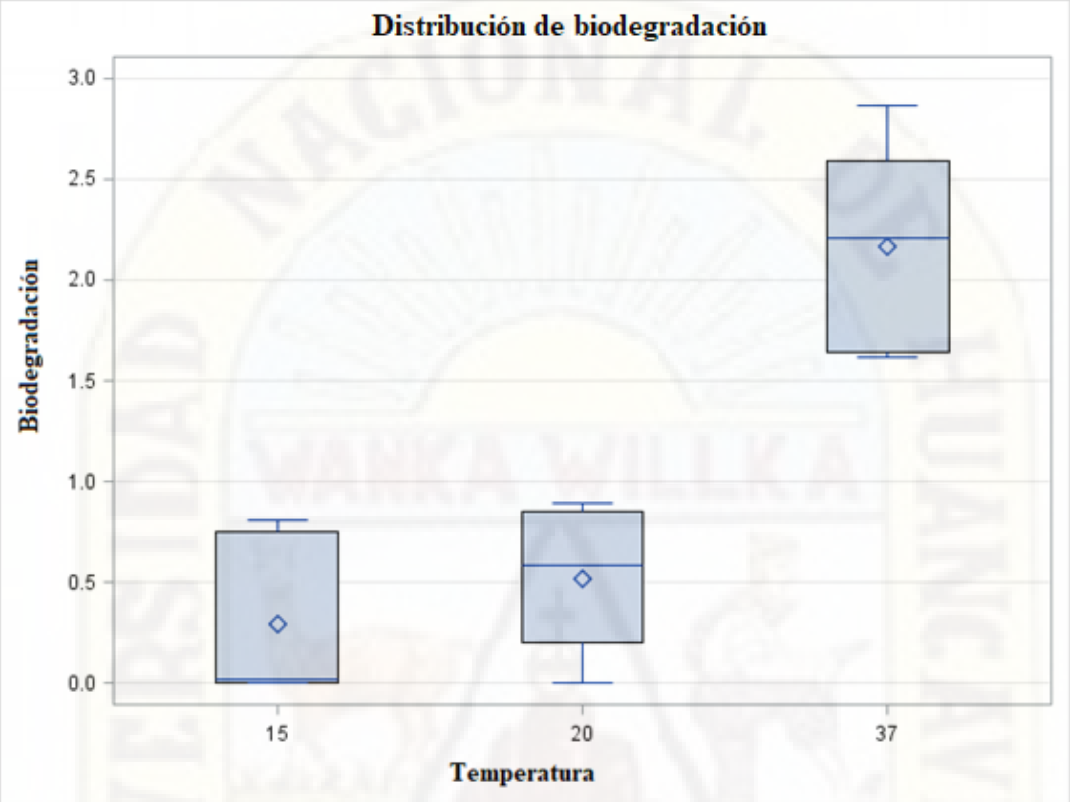
Test de Levene para homogeneidad de la varianza biodegradación
ANOVA de las desviaciones cuadradas de las medias de grupo

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TEMPERATURA	2	0.0530	0.0265	1.53	0.2406
Error	21	0.3649	0.0174		

Nota. En la tabla se realizó el Test de Levene para la homogeneidad de varianza de la biodegradación de polietileno de baja densidad. Elaboración propia

Figura 61

Gráfica de cajas y bigotes de acuerdo al test de Levene



Nota. En la figura se muestra la distribución de la biodegradación del polietileno de baja densidad de acuerdo al Test de Levene. Elaboración propia

Tabla 30

Agrupación de medias y desviación estándar de acuerdo al test de Levene

Nivel de Tempertura	N	Biodegradación	
		Media	Dev std
15	**8**	0.29343125	0.39435051
20	**8**	0.52144047	0.36719371
37	**8**	2.16873661	0.50765100

Nota. En la tabla se realizó la agrupación de medias y desviación estándar de acuerdo al Test de Levene de la biodegradación de polietileno de baja densidad. Elaboración propia

Sistema SAS

Procedimiento ANOVA

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para biodegradación

Alpha	0.05
Grados de error de libertad	21
Error de cuadrado medio	0.182684
Valor crítico del rango estudentizado	3.56462
Diferencia significativa mínima	0.5387

Nota. This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Tabla 31

Agrupación de Tukey (HSD)

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.			
Tukey agrupamiento	**Media**	**N**	**Temperatura**
A	2.1687	8	37
B	0.5214	8	20
B			
B	0.2934	8	15

Nota. En la tabla se realizó el Tukey agrupamiento de la mejor temperatura y eficaz para la biodegradación de polietileno de baja densidad. Elaboración propia

Sistema SAS

Procedimiento ANOVA

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para biodegradación

Alpha	0.01
Grados de error de libertad	21
Error de cuadrado medio	0.182684
Valor crítico del rango estudentizado	4.61204
Diferencia significativa mínima	0.6969

Nota. This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Tabla 32

Agrupamiento Tukey de medias

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.			
Tukey Agrupamiento	**Media**	**N**	**Temperatura**
A	2.1687	8	37
B	0.5214	8	20
B			
B	0.2934	8	15

Nota. En la tabla se realizó el Tukey agrupamiento de la mejor media y eficaz en la biodegradación de polietileno de baja densidad. Elaboración propia

Anexos. - MATRIZ DE CONSISTENCIA: BIODEGRADACIÓN DEL POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD (LPDE) CON *Staphylococcus sp* AISLADO DEL BOTADERO DE ASCENSIÓN- HUANCAVELICA

Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	variables	Métodos
General ¿Cómo influyen las temperaturas en la degradación del polietileno de baja densidad (LPDE) con *Staphylococcus sp* aislado del botadero de Ascensión - Huancavelica? **Específicos** • ¿A qué temperatura el *Staphylococcus sp* aislado del botadero de Ascensión realiza mayor porcentaje de degradación del polietileno de baja densidad (LPDE)? • ¿A qué temperatura el *Staphylococcus sp* aislado del botadero de Ascensión realiza menor porcentaje de degradación del polietileno de baja densidad (LPDE)?	**General** Determinar el porcentaje de degradación del polietileno de baja densidad (LPDE) por *Staphylococcus sp* aislado del botadero Ascensión - Huancavelica. **Específicos** • Determinar a qué temperaturas se realiza mayor degradación del polietileno de baja densidad (LPDE) por la bacteria *Staphylococcus sp* aislado del botadero Ascensión – Huancavelica. • Determinar a qué temperaturas se realiza menor degradación del polietileno de baja densidad (LPDE) por la bacteria *Staphylococcus sp* aislado	**General** La bacteria *Staphylococcus sp* aislado del botadero de Ascensión - Huancavelica degrada el polietileno de baja densidad (LPDE). **Específicos** • El Staphylococcus spaislado del botadero Ascensión - Huancavelica realiza mayor degradación del polietileno de baja densidad (LPDE) a 37 °C. • El *Staphylococcus sp* aislado del botadero Ascensión - Huancavelica realiza menor degradación del polietileno de baja densidad (LPDE) a 15 °C.	La bacteria *Staphylococcus sp* son microrganismos presentes en la basura capaz de biodegradar el polietileno de baja densidad, uno de los materiales plásticos más utilizados, existen y se fabrican como bolsas y envases de alimentos entre otros objetos (Bertocchini, 2017). La biodegradación del plástico es el proceso mediante el cual las sustancias se eliminan o transforman por la acción de organismos vivos (Gonzales, 2004).	Temperatura variante Masa del polietileno de baja densidad (LPDE)	15 °C 20 °C 37 °C Diferencia del peso inicial y final del polietileno de baja densidad (LPDE)	**Independiente** Bacteria *Staphylococcus sp* **Dependiente** Biodegradación de polietileno de baja densidad (LPDE)	Tipo: Aplicada Nivel: explicativo Población: polietileno de baja densidad (LPDE) Muestra: Aleatorio de LPDE Nivel de significancia: 5% Diseño: experimental Prueba de hipótesis: ANOVA

Fuente: propia

	del botadero Ascensión – Huancavelica.						