



Universidad Científica del Perú - UCP

Registrado en el Asiento N° A00010 de la Partida N° 11000318, Personas Jurídicas de Iquitos,
Superintendencia de los Registros Públicos - SUNARP

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA PROGRAMA ACADÉMICO DE
INGENIERIA AMBIENTAL**

**DEGRADACIÓN DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO SOLUBILIZADO CON
ACEITE ESENCIAL DE CÁSCARA DE NARANJA (*Citrus sinensis*)
EMPLEANDO *Pseudomonas aeruginosa*.**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR (es):

Bach. Ing. Pinto Alejos, Milagros del Pilar

Bach. Ing. Rengifo Gutiérrez, Yamile Milagros

ASESOR (es):

Blga. Marjorie Raquel, Donayre Ramírez, Dra.

Blgo. Álvaro Benjamín, Tresierra Ayala, Dr.

CO ASESOR:

Ing. Daniel Carrasco Montañez, M.Sc.

San Juan Bautista, Maynas, Loreto, Perú.

2024

DEDICATORIA

Pinto Alejos, Milagros del Pilar

A mis padres y hermano que, en los 5 años de estudio superior me motivaron y dieron fuerzas para lograr mis objetivos personales y cumplir con mis metas profesionales.

Rengifo Gutierrez, Yamile Milagros.

A mí, por todo el esfuerzo dedicado estos 5 años de estudios universitarios, por las ganas de seguir adelante día a día para lograr mis metas.

A mis gatitas, Luna y Tephy que a pesar de ser animales me demostraron su cariño incondicional y me acompañaron en las largas noches de vela.

A mi madre por darme la vida y a toda mi familia que me ha acompañado desde mis inicios en esta travesía.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Científica del Perú por brindarnos la oportunidad de continuar con nuestros estudios superiores en su prestigiosa casa de estudios

Al proyecto que con Resolución N° 016-2019-UCP-VRII, denominado “Degradación de poliestireno expandido solubilizado en aceite esencial de cáscara de naranja *Citrus sinensis*, empleando *Pseudomonas aeruginosa*”, con el apoyo de la Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, nos permitió financiar y culminar la tesis.

A nuestros asesores la Bióloga Marjorie Raquel Donayre Ramírez, Dra., Microbiólogo Álvaro Tresierra Ayala Dr. Co Asesor Ing. Daniel Carraco Montañez, Msc. por su tiempo, paciencia y dedicación en todo este proceso de aprendizaje

Al programa Beca 18 por confiar en los jóvenes de frontera con ganas de seguir estudiando y lograr una carrera profesional a favor de nosotros mismos, de nuestros padres y de nuestra provincia; y por último y no menos importante agradecer a todas las personas que estuvieron con nosotros en todo este proceso de estudios universitarios, maestros, compañeros, amigos y familiares, gracias por su apoyo y confianza en nosotras.

Bach. Ing. Pinto Alejos, Milagros del Pilar

Bach. Ing. Rengifo Gutiérrez, Yamile Milagros.

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD



"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ - UCP

El presidente del Comité de Ética de la Universidad Científica del Perú - UCP

Hace constar que:

La Tesis titulada:

**DEGRADACIÓN DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO SOLUBILIZADO
CON ACEITE ESENCIAL DE CÁSCARA DE NARANJA (*Citrus sinensis*)
EMPLEANDO *Pseudomonas aeruginosa*.**

De las alumnas: **MILAGROS DEL PILAR PINTO ALEJOS Y YAMILE MILAGROS RENGIFO GUTIÉRREZ**, de la Facultad de Ciencias e Ingeniería pasó satisfactoriamente la revisión por el Software Antiplagio, con un porcentaje de **15% de similitud**.

Se expide la presente, a solicitud de la parte interesada para los fines que estime conveniente.

San Juan, 29 de febrero del 2024.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Jorge L. Tapullima Flores', is written over a light blue circular stamp or watermark.

Mgr. Arq. Jorge L. Tapullima Flores
Presidente del Comité de Ética – UCP

Resultado_UCP_Ambiental_2023_Tesis_MilagrosPinto_y_Ya...

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	www.doccity.com Fuente de Internet	1%
2	Submitted to Universidad Privada del Norte Trabajo del estudiante	1%
3	Submitted to unsaac Trabajo del estudiante	1%
4	www.grafiati.com Fuente de Internet	<1%
5	Submitted to Universidad Tecnica De Ambato- Direccion de Investigacion y Desarrollo , DIDE Trabajo del estudiante	<1%
6	Submitted to Universidad Cooperativa de Colombia Trabajo del estudiante	<1%
7	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	<1%
8	repositorio.ucundinamarca.edu.co Fuente de Internet	<1%

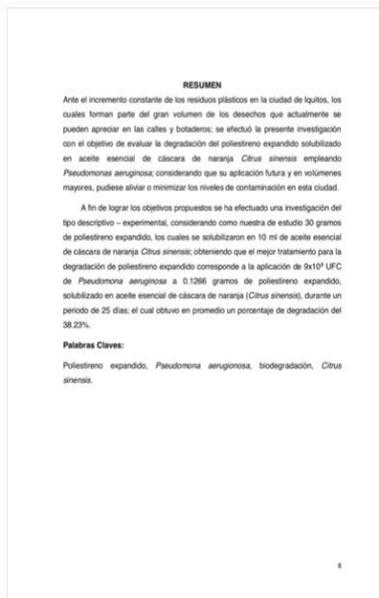


Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Milagros Del Pilar Pinto Alejos
Título del ejercicio: Quick Submit
Título de la entrega: Resultado_UCP_Ambiental_2023_Tesis_MilagrosPinto_y_Yamil...
Nombre del archivo: MBIENTAL_2023_TESIS_MILAGROSPINTO_Y_YAMILERENGIFO_...
Tamaño del archivo: 896.7K
Total páginas: 36
Total de palabras: 8,870
Total de caracteres: 47,992
Fecha de entrega: 29-feb.-2024 11:42a. m. (UTC-0500)
Identificador de la entre... 2308000326



ACTA DE SUSTENTACIÓN

FACULTAD DE
CIENCIAS E
INGENIERÍA



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

Con Resolución Decanal N° 79-2023-UCP-FCEI del 19 de enero del 2023, la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Universidad Científica Del Perú - UCP designa como Jurado Evaluador de la tesis a los señores:

- | | |
|---|------------|
| • Ing. Carmen Patricia Cerdeña del Aguila, Dra. | Presidente |
| • Ing. Frank Romel León Vargas, Dr. | Miembro |
| • Ing. Miguel Ángel Cornelio Chujutalli, Dr. | Miembro |

Como Asesora de la Tesis Dra. Marjorie Raquel Donayre Ramírez, y co asesores Dr. Álvaro Benjamín Tresierra Ayala, M.Sc. Daniel Carrasco Montañez

En la ciudad de Iquitos, siendo las 10:00 am del día **25 de abril de 2024**, supervisado por la Secretaria Académica de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Universidad Científica del Perú, se constituyó el Jurado para escuchar la sustentación y defensa de la Tesis: **DEGRADACIÓN DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO SOLUBILIZADO CON ACEITE ESENCIAL DE CÁSCARA DE NARANJA (*citrus sinensis*) EMPLEANDO *Pseudomonas aeruginosa***

Presentado por las sustentantes

PINTO ALEJOS MILAGROS DEL PILAR RENGIFO GUTIERREZ YAMILE MILAGROS

Como requisito para optar el título profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

Luego de escuchar la sustentación y formuladas las preguntas las que fueron: **absueltas**

El Jurado después de la deliberación en privado llegó a la siguiente conclusión:

Que la sustentación es **aprobado por unanimidad**

En fe de lo cual los miembros del Jurado firman el acta.

Ing. Carmen Patricia Cerdeña del Aguila, Dra.
Presidente

Ing. Frank Romel León Vargas, Dr.
Miembro

Ing. Miguel Ángel Cornelio Chujutalli, Dr.
Miembro

HOJA DE APROBACIÓN



HOJA DE APROBACIÓN

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AMBIENTAL
TESISTAS: PINTO ALEJOS MILAGROS DEL PILAR
RENGIFO GUTIERREZ YAMILE MILAGROS

Tesis sustentada en acto publico el 25 de abril de 2024, a las 10:00 am, en las instalaciones de la UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ.

ING. CARMEN PATRICIA CERDEÑA DEL AGUILA, DRA.
PRESIDENTE DE JURADO

ING. FRANK ROMEL LEÓN VARGAS, DR
.MIEMBRO DE JURADO

ING. MIGUEL ÁNGEL CORNELIO CHUJUTALLI, DR
MIEMBRO DE JURADO

DRA. MARJORIE RAQUEL DONAYRE RAMIREZ
ASESORA

ASESORES DR. ALVARO TRESIERRA AYALA,
CO ASESOR

M.SC. DANIEL CARRASCO MONTAÑEZ
COASESOR

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTO.....	III
CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD	IV
ACTA DE SUSTENTACIÓN.....	VII
HOJA DE APROBACIÓN.....	VIII
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	9
RESUMEN	11
1.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	13
1.1.1. Antecedentes Internacionales.....	13
1.1.2. Antecedentes Nacionales	16
1.2. BASES TEÓRICAS.....	19
1.2.1. Solubilidad en aceites esenciales:.....	19
1.2.2. Degradación de poliestireno:	22
1.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	26
a) Poliestireno expandido:.....	26
b) Poliestireno:.....	26
c) Naranja:.....	26
d) Cáscara de naranja:.....	26
e) Pseudomonas aeruginosa:.....	27
f) Aceites esenciales:.....	27
g) Solubilización:	27
2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	28
2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	29
2.2.1. Problema general	29
2.2.2. Problemas específicos.....	29
2.3. OBJETIVOS.....	29
2.3.1. Objetivo general.....	29
2.3.2. Objetivos específicos.....	29
2.4. HIPÓTESIS.....	29
2.4.1. Hipótesis General	29
2.5. VARIABLES:.....	30
2.5.1. Identificación de las variables.	30
2.5.2. Definición conceptual y operacional de las variables.....	30
2.5.3. Operacionalización de las variables.	31
3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.	32

3.1.1. Tipo de investigación	32
3.1.2. Diseño de investigación	32
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	32
3.2.1. Población	32
3.2.2. Muestra	32
3.3. TÉCNICAS, INSTRUMENTOS Y PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS ..	32
3.3.1. Procedimientos de recolección de datos	33
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	37
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	43
5.1. DISCUSIÓN	43
5.2. CONCLUSIONES	45
5.3. RECOMENDACIONES	46
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

RESUMEN

Ante el incremento constante de los residuos plásticos en la ciudad de Iquitos, los cuales forman parte del gran volumen de los desechos que actualmente se pueden apreciar en las calles y botaderos; se efectuó la presente investigación con el objetivo de evaluar la degradación del poliestireno expandido solubilizado en aceite esencial de cáscara de naranja *Citrus sinensis* empleando *Pseudomonas aeruginosa*; considerando que su aplicación futura y en volúmenes mayores, pudiese minimizar los niveles de contaminación en la ciudad.

A fin de lograr los objetivos propuestos se ha efectuado una investigación del tipo descriptivo – experimental, considerando como muestra de estudio 30 gramos de poliestireno expandido, los cuales se solubilizaron en 10 ml de aceite esencial de cáscara de naranja *Citrus sinensis*; obteniendo que el mejor tratamiento para la degradación de poliestireno expandido corresponde a la aplicación de 9×10^8 UFC de *Pseudomonas aeruginosa* a 0.1266 gramos de poliestireno expandido, solubilizado en aceite esencial de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*), durante un periodo de 25 días; el cual obtuvo en promedio un porcentaje de degradación del 38.23%.

Palabras Claves:

Poliestireno expandido, *Pseudomonas aeruginosa*, degradación, *Citrus sinensis*.

ABSTRACT

Given the constant increase in plastic waste in the city of Iquitos, which is part of the large volume of waste that can currently be seen in the streets and dumps; The present investigation was carried out with the objective of evaluating the degradation of expanded polystyrene solubilized in *Citrus sinensis* orange peel essential oil using *Pseudomonas aeruginosa*; considering that its future application and in larger volumes could alleviate pollution levels in this city to a certain extent.

In order to achieve the proposed objectives, a descriptive-experimental type of research has been carried out, considering as our study 30 grams of expanded polystyrene, which were solubilized in 10 ml of *Citrus sinensis* orange peel essential oil; obtaining that the best treatment for the degradation of expanded polystyrene corresponds to the application of 9×10^8 CFU of *Pseudomonas aeruginosa* to 0.1266 grams of expanded polystyrene, solubilized in essential oil of orange peel (*Citrus sinensis*), for a period of 25 days; which obtained an average degradation percentage of 38.23%.

Keywords

Expanded polystyrene, *Pseudomonas aeruginosa*, degradation, *Citrus sinensis*.

CAPITULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

1.1.1. Antecedentes Internacionales

Vélez y Benítez (1), en el proyecto de grado titulado “Obtención de un recubrimiento anticorrosivo a partir de poliestireno expandido reciclado”, expresan que debido a los efectos nocivos ocasionados por el desecho de grandes cantidades de poliestireno expandido, los cuales fueron previamente utilizados como recubrimientos para la prevención y control de la corrosión en las diferentes industrias, han buscado reutilizar el poliestireno expandido reciclado y, mediante el uso del limoneno como solvente, obtener un recubrimiento anticorrosivo. Es así que, mediante su investigación del tipo experimental, desarrolló diferentes formulaciones que consideraron la utilización de variadas proporciones de poliestireno expandido reciclado, dióxido de titanio, limoneno y óxido de zinc, así como la adición de octoato de cobalto; comprobando en los resultados obtenidos que las propiedades anticorrosivas de estas formulaciones eran buenas, destacándose la formulación N° 10, la cual sólo presentó un 10% de superficie corroída, mientras que la probeta pintada con el recubrimiento comercial presentaba un 50% de la superficie corroída. Así mismo, entre las principales conclusiones de los autores se señala que “El uso del limoneno como componente del recubrimiento es muy importante, ya que gracias a sus propiedades químicas, es la sustancia principal que brinda las propiedades anticorrosivas, a diferencia de los solventes a base de petróleo, es amigable con el medio ambiente y no causa problemas de salud en los seres humanos”, mencionando que, además de las propiedades anticorrosivas, se pudo identificar “una buena adherencia del recubrimiento a las probetas en comparación con el recubrimiento comercial, lo cual se dedujo debido a la formación de ampollas y al fácil desprendimiento del recubrimiento comercial de la placa en la que se aplicó”. (1)

Con un objetivo similar, poder reducir el incremento excesivo de los desechos de poliestireno, Melchor (2018), en su tesis “Reciclamiento de poliestireno utilizando disolventes verdes, ha utilizado los desperdicios de

los cítricos de temporada para probar la solubilidad del poliestireno reciclado en el limoneno reciclado, al cual, después de la solubilización, se le consideró aplicaciones como recubrimiento anticorrosivo o un posible biopolímero.

La investigación efectuada por Melchor fue del tipo experimental y consideró como muestra el estudio del “comportamiento electroquímico del acero al carbón 1018 en medio neutro con recubrimientos de d-limoneno, 1000 y 5000 ppm de d-limoneno-Poliestireno, obteniendo películas de espesores de 68 μm , 1088 y 2102 μm .”; así mismo, efectuó las pruebas de ruido e impedancia. Los autores señalan que para obtener “el posible biopolímero se propusieron 4 muestras distintas, a las que se les realizaron pruebas mecánicas de tensión y de tiempo, para obtener el polímero de mejores características”, llegando a las siguientes conclusiones:

“En el caso de los polímeros propuestos se encontró un resultado favorable para el polímero compuesto por limoneno, biopolímero sin almidón y poliestireno; obteniendo módulos de elasticidad superiores a los 2500 KPa, comportándose en los ensayos realizados como una liga, en este punto se observó que, al cabo de 2 horas, el polímero regresa a su tamaño original”. “Finalizando con lo relacionado a la segunda aplicación; recubrimientos anticorrosivos para los sustratos de limoneno, limoneno con poliestireno en concentraciones de 1000 y 5000 ppm, se concluye que a mayor concentración de poliestireno en el medio mayor es la protección del sustrato. El sistema a 5000 ppm tiene una mayor resistencia la solución. Siendo la técnica de impedancia es más sensible para detectar los procesos de picado que el ruido electroquímico”. (2)

Analizando la capacidad de los microorganismos para lograr la degradación de algunos polímeros, Bermúdez (2021), ha realizado estudios sobre las condiciones bajo las que los microorganismos logran la degradación del PET, plasmando esos resultados en la tesis titulada “Evaluación de microorganismos (*Trichodema* spp. Y *Pseudomona* auriginosa) para la degradación del PET”. La investigación desarrollada por la autora se consideró la revisión de la bibliografía existente en fuentes como Science Direct, Google académico y Springer Link.

Dentro de los principales resultados y conclusiones obtenidos por la autora se determinó que la “*Pseudomonas aeruginosa* es una bacteria cuya capacidad de degradación supera el 14%(p/p), mientras que, la capacidad de degradación de *Trichoderma spp.* se encontró en 13.15% (p/p), siendo así, *Pseudomonas* la especie recomendada para generar la degradación a escala piloto, donde, se seleccionan las condiciones de operación con base a los requerimientos del microorganismo para plantear el proceso de acondicionamiento y degradación del PET”. Así mismo, esta indica aseveraciones como “los puntos críticos del sistema se presentan en equipos como la autoclave y biorreactores, ya que, según el autor Espinoza, la esterilización del medio de cultivo es un factor importante para la eliminación de agentes externos que puedan afectar al microorganismo y dañar el cultivo, mientras que, en los biorreactores es necesario mantener el control de la temperatura para que no sobrepase las temperaturas que soportan los microorganismos y genere inhibición o muerte de estos, por este motivo, se recomienda que los equipos se encuentren con controladores de temperatura y pH integrados”. (3)

En sintonía con Bermúdez (3), la autora Murillo (2022), desarrolló la tesis “Estudio del efecto de microorganismos degradadores en el espectro del polietileno de baja densidad a través de técnicas estadísticas multivariantes”, donde realizó el estudio del “efecto de la actividad microbiana de la bacteria *Pseudomonas aeruginosa* y el hongo *Aspergillus brasiliensis*”, analizando la actividad de biodegradación *in vitro*, sobre el polietileno de baja densidad. Como objetivo del estudio la autora buscó establecer la relación existentes entre las variables por el efecto de los microorganismos degradadores en el espectro de absorción a través de técnicas estadísticas multivariantes, considerando dentro del marco metodológico la investigación descriptiva del tipo correlacional, y obteniendo como principales resultados y conclusiones que indican que el polietileno sometido al tratamiento ha presentado una reducción del peso en ambos casos; en el caso del polietileno tratado con *A. brasiliensis* la autora determinó que la pérdida de peso correspondía al 0.97%, mientras

que del polietileno de baja densidad PEBD tratado con *Pseudomonas aeruginosa* mostró una pérdida de peso de 1.52; así mismo, la comparación de los espectros FTIR, demostró la “presencia de grupos funcionales carbonilo y éter en el espectro del PEBD tratado con la bacteria, cosa que no ocurrió con el polietileno tratado con el hongo, el cual no presentó ninguna variación en el espectro, en cuanto al ACP se consideró 3 componentes para este estudio, los cuales representan el 76,4% de la varianza observada, se obtuvo un coeficiente de correlación de 0,42, el cual indica que las variables poseen una correlación positiva y están asociadas de manera directa”.(4)

1.1.2. Antecedentes Nacionales

Dentro del marco nacional, se efectuaron investigaciones relacionadas a la degradación de materiales “no degradables”, como el PET; así mismo, se efectuaron estudios para demostrar las propiedades de los aceites esenciales y el uso de microorganismos para este fin. Es así que las autoras Charri y Huamán (2017), en su tesis “Actividad del aceite esencial de *Cinnamomun zeylanicum* “Canela” frente a biopelículas de *Pseudomonas aeruginosa* y *Staphylococcus aureus* inducidas in vitro sobre lentes de contacto blandos” buscando demostrar la actividad inhibidora del aceite esencial de *Cinnamomun zeylanicum* sobre la formación de biopelículas de *Pseudomonas aeruginosa* y *Staphylococcus aureus*, y reducir el riesgo en la salud de las personas que utilizan lentes de contactos blandos, para esto realizan un estudio del tipo experimental prospectivo, mediante el ensayo de biopelícula estática, cuantificando la formación de las biopelículas. Como resultado de la investigación realizada por Charri y Huamán se indicó que “el aceite esencial de *Cinnamomum zeylanicum* presenta actividad inhibitoria frente a biopelículas de *Pseudomonas aeruginosa* a una concentración de 5 $\mu\text{L}/\text{mL}$, a una concentración de 5 $\mu\text{L}/\text{mL}$, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 9027 a una concentración de 5 $\mu\text{L}/\text{mL}$, *Staphylococcus aureus* a una concentración de 1,25 $\mu\text{L}/\text{mL}$ y *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 a una concentración de 0,625 $\mu\text{L}/\text{mL}$, logrando un efecto óptimo frente a la formación de biopelículas de *Pseudomonas aeruginosa*, donde se llegó a reducir en un

23,94% el crecimiento de dichas biopelículas mejor que la solución multipropósito “Renu Fresh ®”, mientras que en las biopelículas maduras, el aceite esencial tuvo mejor actividad en *Staphylococcus aureus* ATCC 95923 con una reducción del 24,85% mejor que la solución multipropósito “Renu Fresh ®”. Así mismo, a partir de esos resultados concluyen que el aceite esencial de canela presenta una gran actividad inhibitoria frente a biopelículas de *Pseudomonas aeruginosa* y *Staphylococcus aureus* inducidas en lentes de contacto blandos, con lo que dan por aceptada la hipótesis del estudio.

Enfocados en biodegradación del polietileno tereftalato, uno de los contaminantes que más se utiliza en la vida diaria, Barbarán et al. (2018), elaboraron el estudio “Biodegradación de polietileno tereftalato (PET) por acción de *Pseudomonas aeruginosa*, en condiciones de laboratorio”, donde mediante una investigación del tipo aplicada determinaron el porcentaje de biodegradación con el método de la pérdida de peso. Esta investigación utilizó como muestra 35 gramos de polietileno tereftalato en polvo, obtenido de botellas descartables, y sobre los cuales se aplicaron nueve tratamientos donde se “inocularon concentraciones de *Pseudomonas aeruginosa* de 18×10^7 UFC, 36×10^7 UFC y 3×10^8 UFC para periodos de tiempo de 14,25 y 35 días, considerando tres repeticiones por cada tratamiento”. Los principales resultados obtenidos en esta investigación indican que “la aplicación de 9×10^8 UFC de *Pseudomonas aeruginosa* durante 35 días biodegrada un 19.93% de polietileno tereftalato”, así mismo, los tratamientos mostraron que la biodegradación del polietileno tereftalato tiene una relación directa respecto al tiempo de aplicación y la concentración de *Pseudomonas aeruginosa*.

Entre las principales conclusiones, los investigadores indican que el polietileno tereftalato “requiere de más tiempo para su degradación, y que la influencia de la concentración bacteriana en la biodegradación del polímero es baja”, así mismo, los autores han logrado “determinar el porcentaje de biodegradación del poliestireno tereftalato mediante pérdida de peso”, haciendo posible postular el método empleado como una “alternativa viable en el uso de la biotecnología” (6)

En la ciudad de Tacna, Gutierrez (2019), investiga sobre la “Biodegradación de polietileno de baja densidad utilizando hongos, bacterias y consorcios microbianos aislados del botadero municipal de Tacna”, y mediante una investigación del tipo cuantitativa y experimental, la autora recolectó la muestra, compuesta por 30 bolsas y botellas de polietileno de baja densidad, preparó el medio salino para inocular los microorganismos, así mismo preparó el medio con sales minerales, pesó el polietileno de baja densidad, realizó el aislamiento de los microorganismos, aplicó la prueba de catalasa y la observación al microscopio sobre la muestra, realizó la purificación de las cepas, tanto para bacterias como para hongos; procediendo luego con el proceso de fermentación de los carbohidratos y finalmente el pesado final del polietileno de baja densidad.

Culminada la última etapa de los ensayos, la autora identificó dentro de sus resultados cepas de “*Bacillos sp*, *Acinetobacter sp*, *Pseudomonas sp*, *Flavobacterium sp*, *Micrococcus sp*, *Rhodotorula sp*, *Penicillium vanoranjei*, *Aspergillus sp*, *Saccharomyces cereviceae* y dos no identificadas”, así mismo indicó que mediante la microfotografía SEM, se ha podido evidenciar la acción degradativa del consorcio microbiano, respecto al polietileno de baja densidad, obteniendo “un porcentaje de 2.08% en un periodo de 70 días de incubación”; siendo el consorcio microbiano de mayor biodegradación, con 6.54%, el consorcio 3. Así mismo, dentro del estudio se concluyó que se logró aislar “9 cepas bacterianas y 4 cepas de hongos de los distintos consorcios” mediante el uso de “carbono de baja densidad en medio mineral salino”; de las cuales se obtuvo un porcentaje de degradación promedio del polietileno de 2.08%, “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”.(7)

Ccallo et al (2020), publicaron el artículo “Biodegradación de polímeros de plástico por *Pseudomonas*, en la revista “Ciencia, Tecnología y Desarrollo” de la Universidad Peruana Unión, a partir de la revisión de bibliografía relacionada a los métodos, técnicas y mecanismos de biodegradación por *Pseudomonas* de los plásticos.

Dentro de los principales resultados, este artículo muestra que “las *Pseudomonas* tienen la capacidad de asimilar los plásticos, convirtiéndolos de polímeros a monómeros y finalmente mineralizarlos en dióxido de carbono o en gas metano”, así mismo, la investigación detalla que los microorganismos estudiados poseen la capacidad de adaptación a los diferentes medios expuestos, en condiciones bióticas y/o abióticas; e indica que la capacidad de asimilación de estos microorganismos (*Pseudomonas*) “se debe a la generación de enzimas que inician la ruptura de polímeros”,

Dado que los autores indicaron que “las *Pseudomonas aeruginosas* son un medio ecológico para retirar los polímeros del medio ambiente: polietileno de alta densidad (HDPE) y de baja densidad (LDPE), polietileno tereftalato (PET), polietileno (PE), polipropileno (PP), poliuretano (PU), polisulfuro de fenileno (PPS), entre otros polímeros”, estos concluyeron que “la degradación de polímeros por bacterias permite la mineralización de este por ser cadena polimérica de carbono, y el método de microscopía óptima permite evidenciar las fragmentación y cambios en la estructura de los polímeros sintéticos de manera más sencilla”, así mismo se ha verificado la importancia “del tipo de polímero en la mineralización en C2 y agua en procesos aeróbicos”, mostrando que “las bacterias liberan enzimas que fraccionan a la cadena polimérica en monómeros que son mineralizados”. (8)

1.2. Bases teóricas

1.2.1. Solubilidad en aceites esenciales:

Solubilidad:

La solubilidad es una forma de expresar la cantidad de soluto que se encuentra en la solución, se puede determinar cualitativamente suele desarrollarse mediante la observación y cuantitativamente se desarrolla mediante cálculos. (9)

La solubilidad cualitativa permite clasificar las soluciones como:

- Diluida o insaturada: cuando hay poca cantidad de soluto en mucho solvente.

- Saturada: cuando la solución posee la máxima cantidad de soluto que el solvente puede diluir.
- Sobresaturada: cuando la solución tiene más del soluto que puede diluir y la mezcla se transforma en heterogénea.

La solubilidad cuantitativa se obtiene mediante cálculos matemáticos:

Concentraciones físicas.

Las concentraciones físicas son una forma de expresar la cantidad de soluto en la solución como porcentaje, existen tres tipos:

- 1) Porcentaje masa-masa (%m/m): se determina mediante la fórmula:

$$\frac{\%m}{m} = \frac{\text{masa del soluto en gramos}}{\text{masa de la solución en gramos}} * 100$$

- 2) Porcentaje masa-volumen: se determina mediante la fórmula:

$$\frac{\%m}{V} = \frac{\text{masa del soluto en gramos}}{\text{volumen de la solución en gramos}} * 100$$

- 3) Porcentaje volumen –volumen: se determina mediante la fórmula:

$$\frac{\%V}{V} = \frac{\text{Volumen del soluto en gramos}}{\text{volumen de la solución en gramos}} * 100$$

- Concentraciones químicas.

Soluto:

Es el componente de una solución que se encuentra en menor cantidad es conocida como la sustancia que se disuelve. Se puede encontrar en un estado de agregación diferente al comienzo del proceso de disolución y experimentar una transición de fase.

La cantidad de soluto se puede expresar en diferentes unidades, en gramo, en mol, el equivalente y osmoles. (10)

Clasificación del soluto:

Existen con dos tipos de solutos: no electrolitos y electrolitos.

- No electrolitos: son solutos que al colocarlos en agua cada molécula queda como tal sin disociarse. Los no electrolitos son compuestos generalmente de naturaleza orgánica.
- Electrolitos: se disocian en agua, originando dos o más partículas, llamadas cationes y aniones. Son electrolitos las sales, ácidos e hidróxidos. (10)

Solvente:

Un solvente o disolvente es una sustancia que permite la dispersión de otra sustancia en esta a nivel molecular o iónico, es el medio dispersante de la solución, es el componente de una solución establece el estado físico de sí misma. (10)

Clasificación de solventes

Solutos polares serán disueltos por solventes polares y los solutos apolares se disuelven en solventes apolares.

- Disolventes o solventes polares: son sustancias en cuyas moléculas la distribución de la nube eléctrica es asimétrica; por lo tanto, la molécula presenta un polo positivo y otro negativo separados por una cierta distancia. Hay un dipolo permanente.
- Disolventes o solventes apolares: En general son sustancias de tipo orgánico y en cuyas moléculas la distribución de la nube electrónica es simétrica; por lo tanto, estas sustancias carecen de polo positivo y negativo en sus moléculas. No pueden considerarse dipolos permanentes. (10)

Aceites esenciales:

Son mezclas complejas que pueden llegar a estar conformadas por 100 componentes diferentes. Además, son sustancias líquidas volátiles responsables del aroma de las plantas que tienen principalmente compuestos aromáticos en su estructura. Entre los componentes que conforman los aceites esenciales son: alcanos, alcoholes, aldehídos, cetonas, esteroides y ácidos; responsables del olor característico de los mismos. (11)

Clasificación de los aceites esenciales:

Los aceites esenciales se clasifican en base a diferentes criterios: consistencia, origen y naturaleza química.

De acuerdo con su consistencia los aceites esenciales se clasifican en esencias fluidas, bálsamos y oleorresinas, también se pueden clasificar depende de su origen que pueden ser naturales, artificiales y sintéticas. (12)

Aceite esencial de la naranja:

Los aceites esenciales se crean a partir de las partes verdes que poseen clorofila del vegetal; estos aceites esenciales son líquidos volátiles y en su mayoría insolubles en agua, pero fácilmente solubles en alcohol, éter y aceites vegetales y minerales. El aceite esencial de cáscara de naranja contiene más del 90 % de d-limoneno. (13)

Cuadro 1 Composición del aceite esencial de cáscara de naranja por CG/EM

Componentes químicos	Tiempo de retención (TR) en minutos
Limoneno	1,79
β -Linalol	2,03
2(10)-Pineno,(1S,5S)-(-)-	1,55
Decanal	2,61

Fuente: UNMSM 2010 (13)

1.2.2. Degradación de poliestireno:

Poliestireno expandido:

El poliestireno expandido es un material químicamente inerte y no biodegradable, es decir, no se degrada, no se descompone y tampoco desaparece en el medio ambiente, no contiene Clorofluorocarburos (CFC), Por lo que no se puede contaminar químicamente el suelo, el agua o aire; Sin embargo, puede ser un problema ambiental si no se recicla, ya que se considera un material permanente (14).

El poliestireno expandido se define técnicamente como, material plástico celular y rígido fabricado a partir del moldeo de perlas pre expandidas de poliestireno expandible o uno de sus copolímeros, que presenta una estructura celular cerrada y rellena de aire. El poliestireno expandido es obtenido de la formación del poliestireno expandible. Esta materia prima es un polímero del estireno que contiene un agente expansor, el pentano. El poliestireno expandido se forma del petróleo, de las cuales solo un 6 % del petróleo se dedica a la fabricación de productos químicos y plásticos, y un 94 % a combustibles para transporte y calefacción (15).

Características de poliestireno expandido:

Liviano: Contiene hasta un 98% aproximadamente de aire, esto hace que su peso sea demasiado bajo.

- **Estanqueidad:** Está conformado por celdillas cerradas llenas de aire suspendido en su interior y no posee capilaridad.
- **Aislante térmico:** el hecho que esté formado por aire suspendido, (pésimo conductor de calor), en celdillas cerradas, y que el material básico es de escasa conductividad térmica, su coeficiente es de 0.028 kcal/h*m*K, esta condición hace que se aplique un amplio campo térmico, que va desde los -190°C a los +85°C.
- **Atenuador acústico:** El coeficiente de absorción de sonido es una indicación de la eficacia absorbente de sonido de un material, en este caso el poliestireno expandido está en un rango de 0.35 a 0.90 siendo 1 el mejor valor.
- **Buena elasticidad:** Posee gran poder amortiguante
- **Resistencia al envejecimiento:** es resistente a hongos y bacterias de putrefacción.
- **Estabilidad dimensional:** se mantiene a través del tiempo.
- **Difícil inflamabilidad:** es poco inflamable por su baja densidad (2% de plástico) aunque, es recomendable que debe estar cubierto o encapsulado (16)

Propiedades del poliestireno expandido

a) Propiedades físicas del poliestireno expandido

- Densidad

Todos los productos a base de poliestireno expandido poseen una densidad que va desde los 10 kg/m³ hasta los 50 kg/m³.

- Resistencia mecánica

La resistencia mecánica de los productos de poliestireno expandido, se evalúan a través de pruebas de resistencia a la compresión para una deformación del 10 %, este varia depende del producto y se evalúa la resistencia a la flexión, resistencia a la tracción, resistencia a la cizalladura o esfuerzo cortante y fluencia a compresión.

- Aislamiento térmico

Posee una capacidad de aislamiento térmico frente al calor y al frío. Esto se debe a la estructura del material que básicamente consiste en aire ocluido dentro de una estructura celular conformada por el poliestireno. Aproximadamente un 98 % del volumen del material es aire y únicamente un 2 % de materia sólida (poliestireno).

- Comportamiento frente al agua

Posee un nivel mínimo de absorción frente al agua con valores que están entre 1 % y el 3% en volumen.

- Estabilidad dimensional

La estabilidad dimensional se mide acorde a diferentes variaciones producto de la influencia térmica. Estas variaciones se evalúan a través del coeficiente de dilatación térmica independientemente de la densidad y los productos de poliestireno expandido, se sitúa entre 0,05 y 0,07 mm. Por metro de longitud y grado centígrado.

- Estabilidad frente a la temperatura.

El poliestireno expandido puede mantenerse a una temperatura alrededor de los 100°C para acciones de corta duración, y cerca de los

80°C para acciones continuadas y con el material sometido a una carga de 20 kPa.

- **Comportamiento frente a factores atmosféricos.**

La radiación ultravioleta es prácticamente la única que puede alterar al poliestireno expandido. La exposición prolongada bajo la acción de la luz UV, la superficie del poliestireno expandido amarillea y se vuelve frágil, de manera que la lluvia y el viento logran erosionarla.

b) Propiedades químicas del poliestireno expandido

“El poliestireno expandido es estable frente a muchos químicos, pero no estable frente a ácidos concentrados (sin agua) al 100%, como disolventes orgánicos (acetona, ésteres)”

c) Propiedades biológicas del poliestireno expandido

“El poliestireno expandido no constituye sustrato nutritivo para algún microorganismo, es imputrescible, no enmohece y no se descompone. Tampoco se ve atacado por las bacterias del suelo.” (17)

- **Degradación:**

“La degradación es cualquier cambio indeseable en las propiedades para el caso de los polímeros que componen los productos plásticos este cambio se puede presentar de manera física, química y mecánica; ocasionalmente estos sucesos vienen de la mano unos con otros. (18)

La degradación es cualquier cambio que se presente que sea poco favorable en las propiedades de los polímeros; se pueden evidenciar a partir de cambios físicos que son: la pérdida del brillo superficial, la erosión en la superficie, decoloración, también existen pérdida de las propiedades mecánicas tales como la tracción, dureza y flexión. De igual manera se comprueba con cambios químicos; como lo son: las reacciones de entrecruzamiento y la ruptura de enlaces.

El proceso de degradación inicia partir de un agente externo por el cual se conoce el tipo de degradación que ocurre y por consiguiente la modificación de la estructura del polímero.” (19)

- **Degradación térmica**

“El mecanismo de degradación térmica es definido como el proceso en el que se producen cambios químicos en el polímero sin la participación de sustancias químicas adicionales; esto produce que el material se ablande y se vean afectadas las propiedades físicas, mecánicas, ópticas y eléctricas. En los polímeros funciona debido a que las macromoléculas orgánicas que componen los polímeros son estables únicamente cuando están entre temperaturas de 100°C y 200°C; solo con unas pocas excepciones. Sin embargo, cuando la temperatura se eleva considerablemente de los 200°C el polímero se puede fundir o descomponer dependiendo de si es termoplástico o termoestable.” (18)

1.3. Definición de términos básicos

a) Poliestireno expandido:

“Material también conocido como tecnopor, es un material ligero que es formado de un polímero del estireno obtenido del petróleo y que no se degrada” (18).

b) Poliestireno:

“Es un derivado de hidrocarburos (petróleo o gas natural), su obtención es a base del estireno, la cual existe una gran variedad de tipos de polímeros, ya que es un material muy versátil y apropiado para un amplio número de aplicaciones.” (19)

c) Naranja:

“(*Citrus sinensis*) fruto del naranjo, se caracteriza por ser una fruta amarilla en varias tonalidades con forma esférica u oblongo, perteneciente a la familia de las rutáceas y es un hesperidio carnoso de cáscara más o menos gruesa y endurecida y su pulpa está formada típicamente por once gajos u hollejos llenos de jugo, los cuales contienen vitamina C, flavonoides y aceites esenciales que es una de las especies del grupo de cítricos de mayor importancia económica y alimenticia” (20).

d) Cáscara de naranja:

“Capa externa que protege el fruto, del cual puede desprenderse y en la cual se esta la mayor parte de los nutrientes y de los beneficios que aportan las frutas”. (21)

e) *Pseudomonas aeruginosa*:

“Bacilos aerobios gramnegativos de la familia *Pseudomonadaceae*, pueden ser rectos o semicurvados no fermentadores de la glucosa, produce variedad de pigmentos como piocianina, pioverdina, piorrubina, catalasa positivos, con flagelos polares, que no forman esporas y que causan infecciones en el ser humano”. (22)

f) Aceites esenciales:

“Son mezclas complejas que pueden llegar a estar conformadas por componentes diferentes, son sustancias líquidas responsables del aroma, los componentes que conforman los aceites esenciales son: alcanos, alcoholes, aldehídos, cetonas, esterres y ácidos; responsables del olor característico de los mismos”. (23)

g) Solubilización:

Medida de la capacidad que posee una determinada sustancia para disolverse en otra. (24)

h) Biodegradación:

Es la dilución producida por microorganismos (hongos, bacterias, etc.) o sustancias a los materiales que contienen mayor proporción de carbono en sus moléculas. (25)

CAPITULO II: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Descripción del problema

La contaminación ambiental es un problema que aqueja al mundo, actualmente los residuos sólidos municipales de poliestireno expandido (en adelante residuos sólidos), son aquellos que mayor tiempo demoran en biodegradarse, siendo en muchos casos, estos materiales considerados no biodegradables, como es el caso del poliestireno expandido.

El poliestireno expandido (EPS), es un plástico que se obtiene de la polimerización del estireno, muestra una estructura celular cerrada y rellena de aire. Así mismo, se trata de un material bastante frágil y muy sensible a prácticamente todos los disolventes y, al ser de fácil moldeo, es muy utilizado.

Al estar presente en diferentes ámbitos registra una gran demanda a nivel mundial, y esta a su vez genera un alto porcentaje de residuos, al ser un contaminante de mayor volumen el cual perjudica los espacios de tratamiento de residuos en los rellenos o botaderos, al mismo tiempo afecta al medio ambiente y a la belleza paisajística al no degradarse con facilidad, la ciudad de Iquitos no es ajena a este problemática ya que en diferentes calles de la ciudad se pueden encontrar este residuo, debido a la falta de educación ambiental por parte de la población y al mal manejo de los residuos sólidos por las autoridades competentes.

Por lo tanto, desarrollar procesos que ayuden a degradar estos residuos a su mínima expresión constituye una alternativa para un mejor tratamiento que beneficia al ambiente, este proyecto pretendió demostrar la solubilización del poliestireno expandido utilizando el aceite esencial de cáscara de naranja (*citrus sinensis*) y su posible degradación por bacteria *pseudomonas aeruginosa* debido a su capacidad de utilizar una gran variedad de compuestos orgánicos como sustrato para crecer, esta capacidad les permite colonizar nichos en lugares de escasos nutrientes.

Por lo antes mencionado es necesario buscar estrategias de solución para disminuir el volumen que originan estos tipos de residuos (poliestireno expandido) en los botaderos de la ciudad de Iquitos y la solubilización del poliestireno expandido sería de mucha utilidad para un mejor manejo de esta, constituyendo una gran alternativa para el manejo de los residuos sólidos municipales.

2. Formulación del problema

2.2.1. Problema general

¿Será posible la degradación de poliestireno expandido solubilizado con aceite esencial de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) empleando *Pseudomonas aeruginosa*?

2.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es la cantidad requerida de aceite esencial de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) para el poliestireno expandido?
- ¿Qué cantidad de aceite esencial (*Citrus sinensis*) se requiere para la solubilización del poliestireno expandido?
- ¿Cuánto tiempo tomará para que sea posible la degradación del poliestireno expandido solubilizado con aceite esencial de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*), empleando *Pseudomonas aeruginosa*?

2.3. Objetivos

2.3.1. Objetivo general

Evaluar la degradación del poliestireno expandido solubilizado en aceite esencial de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) empleando *Pseudomonas aeruginosa*.

2.3.2. Objetivos específicos

- Extraer el aceite esencial de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*).
- Determinar la solubilización del poliestireno expandido empleando aceite esencial de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*).
- Evaluar la degradación del poliestireno expandido solubilizado en aceite de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*).

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis General

Es posible la degradación del poliestireno expandido solubilizado en aceite esencial de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) empleando *Pseudomonas aeruginosa*.

2.5. Variables:

2.5.1. Identificación de las variables.

Variable Independiente X:

X1= Cantidad de poliestireno expandido solubilizado en aceite esencial de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*).

Variable Dependiente Y:

Y1= Degradación del poliestireno expandido solubilizado, empleando *Pseudomonas aeruginosa*.

2.5.2. Definición conceptual y operacional de las variables.

Cuadro 2: Definición conceptual y operacional de las variables.

Variables	Definición conceptual	Definición Operacional
X1= Cantidad de poliestireno expandido solubilizado en aceite esencial de cáscara de naranja (<i>Citrus Sinensis</i>).	Se define como la cantidad de “material plástico celular y rígido fabricado a partir del moldeo de perlas preexpandidas” (15), solubilizada en una sustancia compuesta por limoneno, β -linalol, 2(10)-Pino, (1S,5S)-(-)- y decanal.	Adición de aceite esencial de cáscara de naranja (<i>Citrus Sinensis</i>) para la reducción de volumen del poliestireno expandido.
Y1= Degradación del poliestireno expandido solubilizado, empleando <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Se define como el cambio que se presenta y es poco favorable en las propiedades de los polímeros a partir del incremento de <i>Pseudomonas aeruginosa</i> .	Perdida del porcentaje de poliestireno expandido solubilizado, por la adición e incremento de <i>Pseudomonas aeruginosa</i> .

2.5.3. Operacionalización de las variables.

Cuadro 3: Operacionalización de las variables

Variables	Indicadores	Índices (g/g)
Cantidad de poliestireno expandido solubilizado en aceite esencial de cáscara de naranja (<i>Citrus sinensis</i>)	<ul style="list-style-type: none"> - Masa de poliestireno expandido (gramos). - Volumen del aceite esencial de cáscara de naranja (<i>Citrus sinensis</i>). (mililitros) - Porcentaje de solubilización del poliestireno expandido 	<ul style="list-style-type: none"> - Gramos (gr) - Mililitros (ml) - Porcentaje (%)
Degradación del poliestireno expandido solubilizado, empleando <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Concentración de la cepa bacteriana. - Crecimiento bacteriano 	<ul style="list-style-type: none"> - 0.5 (1.5×10^8 UFC/ml) - Turbidez

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación.

3.1.1. Tipo de investigación

La investigación es de tipo descriptivo – experimental. Descriptivo porque en un tiempo determinado se ha logrado extraer el aceite esencial, se ha considerado su muestreo y también la descripción de las características de la bacteria del género de *Pseudomonas aeruginosa*.

Es experimental porque se ha evaluado la capacidad de solubilización del poliestireno expandido en aceite de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) y la capacidad degradativa de la bacteria del género *Pseudomonas aeruginosa*. Teniendo en consideración la dilución correcta a emplearse por mililitros de poliestireno solubilizado en aceite esencial de cáscara de naranja.

3.1.2. Diseño de investigación

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

La población estará conformada por todos los residuos de poliestireno expandido que se disponen en la ciudad de Iquitos.

3.2.2. Muestra

La muestra consistió en 30 gramos de poliestireno expandido, los cuales fueron recolectados de los almacenes de material reciclado, donde se concentra este material.

3.3. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos

Las técnicas aplicadas para la obtención de los resultados fueron:

La observación y manipulación de la muestra: se ha observado el proceso de solubilización, además se ha efectuado la manipulación directa de insumos utilizados tanto de poliestireno expandido (EPS) y aceite esencial de cáscara de naranja.

La revisión bibliográfica: se realizó teniendo en cuenta fuentes bibliográficas con respecto al tema a ser desarrollado en el presente trabajo de investigación.

Así mismo, como instrumento para la recolección de datos se empleó fichas de registro de datos para la observación experimental, así mismo, se ha utilizado el análisis documental, para complementar la información obtenida.

3.3.1. Procedimientos de recolección de datos

- **Extracción del aceite esencial de cáscara de naranja *Citrus sinensis*.**

A fin de obtener el aceite esencial de cáscara de naranja *Citrus sinensis*, se recolectó la cáscara de naranja en los mercados de la ciudad de Iquitos, luego se trasladó el material al laboratorio para ser cortados en pequeños trozos con la ayuda de una tijera y luego triturados en seco en la licuadora, después, procedimos a la extracción del aceite esencial mediante destilación por arrastre de vapor, el proceso de extracción se dio en dos partes; la primera se utilizó 6 kg de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) con 9.25 L de agua, el cuál se puso a destilar durante 3 horas con 20 min y la segunda se utilizó 9.250 kg de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) con 9.25 L de agua durante 3 horas, lo cual, al término de la destilación tuvimos como resultado 150 mL de aceite esencial y 470 mL de agua de los dos procesos realizados.

Solubilizar el poliestireno empleando aceite esencial de cáscara de naranja *Citrus sinensis*.

La muestra de poliestireno expandido ha sido recolectada de los alrededores de la ciudad de Iquitos, posteriormente fue trasladada al laboratorio de Ciencias Básicas de la Universidad Científica del Perú donde se procedió al, lavado, secado y pesado para su posterior uso. Seguidamente se elaboraron cuatro muestras con 2 repeticiones de 15 y 25 días, por gramos de poliestireno en mililitros de aceite esencial. Para definir las proporciones utilizadas

en estos ensayos se tomó en cuenta la investigación de los autores López, D., et al. (2004) y a Torres, O., (2004).

Cuadro 4: Proporciones para la solubilización de las muestras.

Muestras	Días	Proporción		P/v
		Poliestireno expandido (EPS) (g)	Aceite esencial de cáscara de naranja (mL)	EPS/Aceite
M1	15	1.5	10mL	1.5/10
M2	15	2.5	10mL	2.5/10
M3	25	1.5	10mL	1.5/10
M4	25	2.5	10mL	2.5/10

Fuente: Lozada, A., S.

3. Toma de muestras y aislamiento de la bacteria *Pseudomonas aeruginosa*.

Para el aislamiento de la bacteria las muestras fueron recolectadas de un taller de mecánica previa coordinación con el encargado, de igual manera con el poliestireno expandido y materiales adecuados para el trabajo de campo, teniendo en consideración literatura revisada. Se tomó las muestras de los motores de los carros, los engranajes, piezas que estaban siendo cambiadas, ya que, estaban cubiertas con aceite lubricantes en ese momento, esto debido a que las *Pseudomonas aeruginosa* tienen la particularidad de utilizar a los lubricantes como fuente de energía, luego las muestras fueron trasladados al laboratorio de la Universidad Científica del Perú, para su identificación y posteriormente realizar el repique a medios de cultivo de agar tripticasa de soya y agar cetremide, para la identificación de la especie bacteriana se inició la técnica de tinción de Gram, de esta manera se logró observar mediante el microscopio si bacterias Gram negativas, constituyendo el primer paso de la identificación, posteriormente se procedió a realizar la prueba de la Oxidasa para corroborar si estamos bajo la presencia de *Pseudomonas aeruginosa*, teniendo como un resultado positivo, una vez logrado la identificación se procedió a sembrar las cepas en Agar Cetremide por lo cual se incubó a 37°C por 24 h; pasado el tiempo se

logró visualizar colonias pigmentadas de color amarillo fosforescente, característica que nos confirmó que efectivamente eran las cepas puras de *Pseudomona aeruginosa*, lo cual fue corroborado por el especialista microbiólogo Dr. Álvaro Tresierra, así como también la revisión de bibliografía como el Manual Berguey y datos revisados de los autores Manzanares, P., *et al.* (2017). Finalmente se realizó el repique de las cepas a caldo soya tripticasa y se incubaron para ser utilizados en la degradación.

- **Degradación del poliestireno expandido solubilizado en aceite esencial de cáscara de naranja *Citrus sinensis*.**

Para la degradación se ha empleado la técnica de dilución de microorganismos según TOBAR *et al.* 2017 en el cual se involucran la dispersión de la muestra que se estudia, en un medio de agar. Se basa en el supuesto de que cada célula bacteriana, fúngica o espora incluida en el medio con agar o en su superficie, al multiplicarse dará origen a un cúmulo de células que producen una colonia. (28)

Para determinar la concentración bacteriana, se ha preparado una solución estéril empleando suero fisiológico, en el cual se han agregado las bacterias de *Pseudomonas aeruginosa* según lo indicado en la escala McFarland tubo N° 3 y el porcentaje en mL de poliestireno expandido solubilizado. Se realizaron 4 ensayos, 2 por 15 días de incubación y 2 por 25 días de incubación. Para este se tomó en cuenta los datos de los autores Barbaran, H., *et al.* (2018).

Cuadro 5: Tratamientos utilizados para determinar la degradación de las muestras.

Tratamiento	Cantidad de Suspensión bacteriana (UFC)	Tiempo de Degradación (Días)	Número de Repeticiones
01	9×10^8	15 días	2
02	9×10^8	25 días	2

Fuente: Barbaran, H., *et al.* (2018).

Procesamiento y análisis de datos.

Los datos de la presente investigación fueron procesados mediante el Microsoft Excel 2013 y el software estadístico IBM SPSS Statistics 23 (Statistical Package for té Social Sciences).

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

A partir de los ensayos desarrollados, se obtuvo la concentración bacteriana de las muestras. Es así que después de evaluar estos valores a los 15 y 25 días, y mediante la pérdida de peso del poliestireno expandido, se ha obtenido su porcentaje de degradación.

Tabla 1 Porcentaje de degradación del Poliestireno expandido, solubilizado en aceite esencial de cáscara de naranja *Citrus sinensis*.

Tratamiento	Dilución EPS-AN (g/mL)	Concentración bacteriana (UFC)	Tiempo de Degradación (Días)	Peso inicia EPS (g)	Peso final EPS (g)	Degradación (g)	Degradación (%)
1	1.5/10	9 x 10 ⁸	15 días	0.1266	0.079	0.0476	37.60
2	1.5/10	9 x 10 ⁸	25 días	0.1266	0.0783	0.0483	38.15
3	2.5/10	9 x 10 ⁸	15 días	0.2075	0.1384	0.0691	33.30
4	2.5/10	9 x 10 ⁸	25 das	0.2075	0.1336	0.0739	35.61
1	1.5/10	9 x 10 ⁸	15 días	0.1266	0.0799	0.0467	36.89
2	1.5/10	9 x 10 ⁸	25 días	0.1266	0.0781	0.0485	38.31
3	2.5/10	9 x 10 ⁸	15 días	0.2075	0.1383	0.0692	33.35
4	2.5/10	9 x 10 ⁸	25 días	0.2075	0.1346	0.0729	35.13
1	1.5/10	9 x 10 ⁸	15 días	0.1266	0.0796	0.047	37.12
2	1.5/10	9 x 10 ⁸	25 días	0.1266	0.0782	0.0484	38.23
3	2.5/10	9 x 10 ⁸	15 días	0.2075	0.1385	0.069	33.35
4	2.5/10	9 x 10 ⁸	25 días	0.2075	0.1323	0.0752	36.24

Tabla 2: Porcentaje de degradación de poliestireno expandido EPS.

TRATAMIENTOS	DILUCIÓN EPS-AN (g/10ml ACEITE)	TIEMPO (DIAS)	% Degradación				
			1	2	3	PROMEDIO	DS
1	1.5	15	37.60	36.89	37.12	37.2038	0.362
2	1.5	25	38.15	38.31	38.23	38.2306	0.079
3	2.5	15	33.30	33.35	33.35	33.3333	0.028
4	2.5	25	35.61	35.13	36.24	35.6627	0.556

Desviación estándar agrupada = 0.334266

En la tabla 2 se puede observar que la degradación del EPS, empleando las *Pseudomonas*, oscilan entre un 33,33 % al 38,23% , siendo el tratamiento 2 el que obtuvo los mejores resultados, cuando se trabajó con una dilución de 1,5 gramos de EPS en 10 mL de aceite esencial de naranja y un tiempo de degradación de 25 días. Así mismo podemos apreciar un valor de desviación estándar agrupada de 0,334266 indicando que los datos dentro del grupo tienen una dispersión moderada en relación con su media.

Tabla 3: Análisis de varianza (ANOVA) de los resultados de degradación obtenido en los tratamientos.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TRATAMIENTOS	3	40.8105	13.6035	121.75	0.000
Error	8	0.8939	0.1117		
Total	11	41.7044			

El ANOVA muestra un $p=0,00000$, por debajo del valor de significancia $\alpha=0,05$ indicando que al menos uno de los valores medios del porcentaje de degradación, difiere significativamente del resto.

Tabla 4: Prueba de Tukey de los resultados de degradación obtenido en los tratamientos, para un nivel de confianza del 95%.

TRATAMIENTOS	N	Media	Agrupación
2	3	38.2306	A
1	3	37.204	B
4	3	35.663	C
3	3	33.3333	D

Según la prueba de Tukey podemos observar para un nivel de confianza del 95% las medias del porcentaje (%) de degradación obtenidos en los tratamientos no comparten una misma letra esto indica que son significativamente diferentes. Siendo el promedio del tratamiento 2 el más alto y que además difiere de los resultados obtenidos en los demás tratamientos.

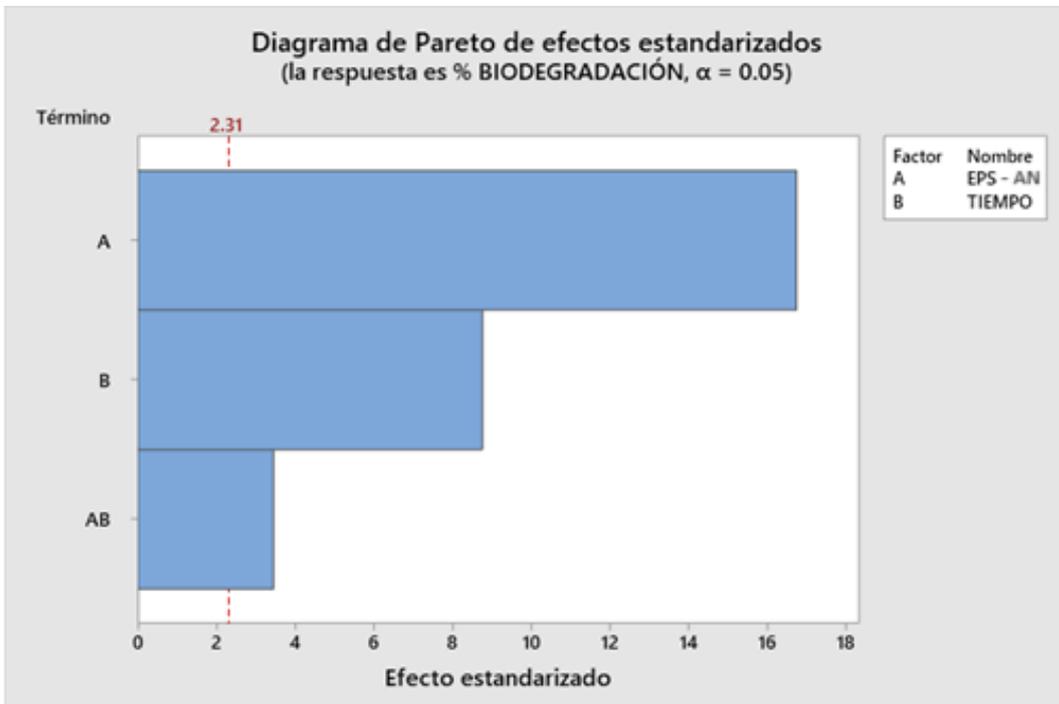
Tabla 5: ANOVA de Regresión factorial: % DEGRADACIÓN vs. EPS, TIEMPO.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor P
Modelo	3	41.3476	13.7825	122.93	0.000
Lineal	2	40.0118	20.0059	178.43	0.000
EPS-AN	1	31.4013	31.4013	280.07	0.000
TIEMPO	1	8.6104	8.6104	76.80	0.000
Interacciones de 2 términos	1	1.3358	1.3358	11.91	0.009
EPS-AN*TIEMPO	1	1.3358	1.3358	11.91	0.009
Error	8	0.8970	0.1121		
Total	11	42.2446			

El análisis de varianza de regresión factorial del diseño experimental 2² para un nivel de confianza $\alpha = 0,05$, muestra que los factores en estudio cantidad de EPS diluido en aceite esencial de naranja (EPS-AN) y tiempo de degradación, muestran un valor $p = 0,000$ indicando que estos influyen significativamente en el porcentaje de degradación del EPS por las bacterias *Pseudomonas*. Así mismo se

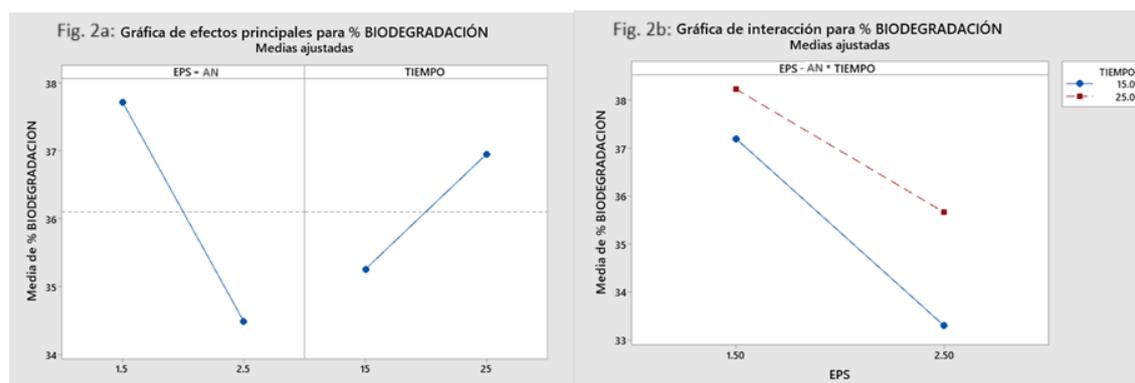
puede observar que la interacción entre ellos presenta un $p=0,009$, indicando también una influencia en los resultados, pero en menor intensidad.

Figura 1: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados.



El diagrama de Pareto nos muestra el efecto de cada uno de los factores en el porcentaje de degradación, siendo la cantidad de EPS diluido en el aceite esencial de naranja el que influye en mayor medida, seguido del tiempo de degradación y en menor medida la interacción entre ellos. Esto se puede evidenciar ya que todos cruzan la línea roja en la gráfica indicando un efecto en la variable respuesta.

Figura 2: Grafica de los efectos principales y de su interacción.



En la figura 2a se puede observar que la cantidad de EPS diluido en el aceite esencial de naranja parece inhibir el crecimiento bacteriano de *Pseudomonas*, disminuyendo la degradación del EPS, mientras que un mayor tiempo de biorremediación favorece la degradación aumentando el porcentaje de degradación. Mientras que en la fig. 2b se puede apreciar un efecto leve de la interacción de los factores en estudio en el porcentaje de degradación esto se puede apreciar debido a que las líneas no se cruzan entre si dentro de los niveles estudiados.

Tabla 6: Coeficientes codificados.

Término	Efecto	Coef	EE del			FIV
			coef.	Valor T	Valor p	
Constante		36.0996	0.0967	373.46	0.000	
EPS-AN	-3.2353	-1.6176	0.0967	-16.74	0.000	1.00
TIEMPO	1.6942	0.8471	0.0967	8.76	0.000	1.00
EPS- AN*TIEMPO	0.6673	0.3336	0.0967	3.45	0.009	1.00

En la tabla de coeficientes codificados podemos observar los valores en que se incrementa o disminuye el promedio del porcentaje de degradación cuando los factores en estudio pasan de un nivel a otro siendo la cantidad de EPS diluido en el aceite esencial el más alto pero de signo negativo indicado que al aumentar este disminuye el porcentaje de degradación, seguido del tiempo de degradación, con signo positivo lo que nos muestra que cuando este pasa del nivel más bajo al nivel más alto el porcentaje de degradación se incrementa. En menor proporción

se encuentra la interacción entre ellos. Según esto el modelo de la regresión lineal queda establecido de la siguiente forma:

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

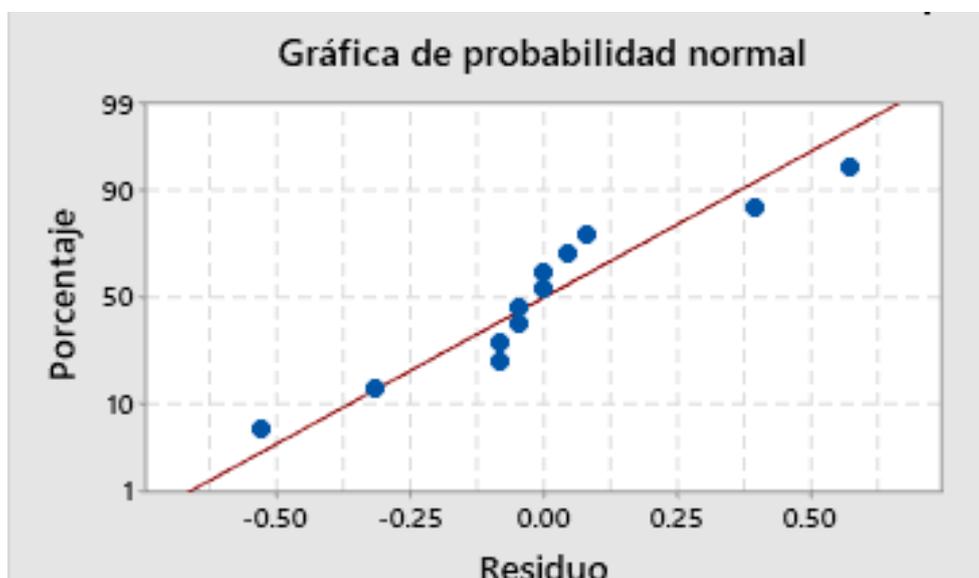
$$\% \text{ DEGRADACIÓN} = 44.52 - 5.904 \text{ EPS} - 0.0975 \text{ TIEMPO} + 0.1335 \text{ EPS} \cdot \text{TIEMPO}$$

Tabla 7: Resumen del modelo.

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.334845	97.88%	97.08%	95.22%

En la tabla 7 observamos un R-cuad (ajustado) de 97,08% lo que nos indica que el diseño factorial 2², es el apropiado y se ajusta lo planteado inicialmente para el estudio de la degradación del EPS diluido en aceite esencial de naranja, con las bacterias *Pseudomonas*.

Figura 3: Gráfica de Probabilidad de los residuos.



En la gráfica de probabilidad normal de los residuos podemos observar que los puntos, están distribuidos proporcionalmente sobre la línea roja lo que nos indica que los datos obtenidos en el estudio provienen de una distribución normal lo que nos permite tener una certeza que el análisis realizado es confiable.

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Discusión

A partir de la interpretación de los resultados, obtenidos del análisis estadístico - inferencial de los valores tomados en el laboratorio, se ha demostrado que el proceso de degradación del material PET (poliestireno expandido), solubilizado en aceite esencial de cáscara de naranja empleando *Pseudomonas aeruginosa*, está influenciado por el proceso de solubilización, el tiempo de solubilización y en menor medida por la interacción entre estas variables. Así mismo, la degradación del poliestireno expandido ensayado, empleando *Pseudomonas*, oscila entre el 33,33% y el 38,23% en promedio, siendo el tratamiento 2, el cual consistió en la dilución de 1,5 gramos de EPS en 10 mL de aceite esencial de naranja y un tiempo de degradación de 25 días; el que obtuvo los mejores resultados.

Al comprobar, mediante el análisis de los resultados obtenidos, la variación en el peso del material PET (poliestireno expandido), entre 33,33% y 38,23% en promedio, la hipótesis de la investigación queda demostrada. De manera similar Bermúdez (3) y Murillo (4), demostraron mediante sus investigaciones que la aplicación de las *Pseudomonas*, como agente degradante del poliestireno expandido, ha generado una variación en el peso de las muestras estudiadas; es así que Bermúdez (3) indica que la “*Pseudomonas aeruginosa* es una bacteria cuya capacidad de degradación supera el 14%(p/p)”, mientras que Murillo (4) señala que en los estudios realizados, al analizar la actividad de degradación *in vitro*, el poliestireno expandido de baja densidad, que fue tratado con *Pseudomonas aeruginosa* “mostró una pérdida de peso de 1,52%”; a pesar de que los valores Bermúdez y Murillo (4) se encontraron por debajo de los valores obtenidos en los resultados de la presente investigación, estos demuestran que existe degradación del poliestireno, aunque en menor medida.

Así mismo, quienes obtuvieron resultados con mayor similitud, a los encontrados en el presente estudio fueron Barbarán et al., ya que en su investigación “Biodegradación de polietileno tereftalato (PET) por acción de *Pseudomonas aeruginosa*, en condiciones de laboratorio”, habiendo utilizado como muestra 35 gramos de botellas descartables en polvo y mediante la

aplicación de nueve tratamientos donde se “inocularon concentraciones de *Pseudomonas aeruginosa* de 18×10^7 UFC, 36×10^7 UFC y 3×10^8 UFC para periodos de tiempo de 14, 25 y 35 días, considerando tres repeticiones por cada tratamiento”, demostraron que al aplicar el tratamiento con 9×10^8 UFC de *Pseudomonas aeruginosa* durante 35 días, se logra una biodegradación del 19.93% de polietileno tereftalato, existiendo una relación directa entre la biodegradación, el tiempo de aplicación y la concentración de *Pseudomonas aeruginosa*; este porcentaje es el más cercano al mínimo porcentaje de degradación de la muestra estudiada en la presente investigación, la cual alcanzó el 33,33% en promedio a los 15 días de tratamiento con una concentración bacteriana de 9×10^8 .

Si bien el análisis de varianza de regresión factorial del diseño experimental ha demostrado que los factores “cantidad de poliestireno expandido y el tiempo de degradación” influyen de manera significativa de forma independiente y en menor grado la iteración de estos, a la degradación del poliestireno expandido, autores como Barbarán et al. (3) infieren que al incrementar la duración de los tratamientos se incrementa la influencia de la biodegradación del poliestireno tereftalato.

En la presente investigación, mediante la prueba de Tukey, se ha demostrado que los tratamientos son significativamente diferentes, el porcentaje de degradación del poliestireno expandido en los 4 tratamientos es similar (33,33%, 35,66%, 37,20% y 38,23% en promedio), existiendo una desviación estándar agrupada de 0,334266 (dispersión moderada en relación con la media); sin embargo al comparar estos resultados con los obtenidos por Barbarán et al. (3), quienes obtuvieron porcentajes de degradación mínimos a los 15 días en todos sus tratamientos, 5,33% - 6,97%, y valores de 10,033%, 10,13% y 10,70%, en el caso de tratamientos con una duración de 25 días, se aprecia una gran diferencia; por lo que se infiere que el incremento en el proceso de degradación del poliestireno expandido se atribuye a la solubilización de poliestireno expandido en el aceite esencial de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*).

5.2. Conclusiones

Habiendo presentado los resultados a los ensayos y la interpretación del análisis inferencial de los mismos en esta investigación, se concluye lo siguiente:

- Se logró la extracción exitosa de aceite esencial de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) obteniendo un rendimiento de 150 mL de aceite esencial.
- Para la solubilización del poliestireno expandido se utilizó los porcentajes de 1.5 gr y 2.5 gr en 10 mL de aceite esencial de cáscara, dando como resultado una consistencia homogénea y moldeable óptimo para la degradación.
- Así mismo, se logró evaluar y obtener el mejor tratamiento para la degradación de poliestireno expandido, siendo la aplicación de 9×10^8 UFC de *Pseudomonas aeruginosa* a 0.1266 gramos de poliestireno expandido, solubilizado en aceite esencial de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*), durante un periodo de 25 días; el cual obtuvo en promedio un porcentaje de degradación del 38.23% y un aumento de turbidez en escala Mcfarland de 12×10^8 UFC.
- Finalmente, a través de la metodología propuesta en este estudio se ha determinado el porcentaje de degradación del poliestireno expandido mediante pérdida de peso, y así postularlo como una alternativa viable en el uso de la biotecnología.

5.3. Recomendaciones

Se recomienda continuar con las investigaciones relacionadas a la degradación de los polímeros, especialmente del poliestireno expandido, a fin de obtener mejores resultados en este campo, reafirmando la viabilidad de la degradación de este material, mediante el cultivo de microorganismos.

Continuar realizando estudios que permitan ampliar la aplicación de *Pseudomonas aeruginosa* como agente degradante, a fin de determinar el periodo de tiempo idóneo para la degradación completa de diversos polímeros. Así mismo, realizar pruebas con diferentes especies bacterianas, que posean características similares, a fin de comparar la capacidad de degradación de estas sobre otros polímeros.

Considera en las futuras investigaciones evaluar la influencia de la temperatura y el sistema de aireación controlado, en el proceso de degradación del poliestireno expandido, e incorporar otras variables presentes en el ambiente, que puedan generar mejores resultados durante el estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. Benítez Contreras, Ismael de Jesús y Vélez Díaz, Jorge Andrés. *Obtención de un recubrimiento anticorrosivo a partir de poliestireno expandido reciclado*. Cartagena de indias : Universidad de Cartagena, 2013. pág. 1.
2. Melchor Vargas, Ofelia. *Reciclamiento de Poliestireno utilizando Disolventes Verdes*. Cuernavaca : Universidad Autónoma del Estado de Morelos, 2018.
3. Bermúdez Morera, Diana Carolina. *Evaluación de microorganismos TRICHODERMA SPP. Y PSEUDOMONA AERUGINOSA para la degradación del PET*. Bogotá D.C : Funadación Universidad de América, 2021. págs. 13-14.
4. Murillo Brito, Tatiana Elizabeth. *Estudio del efecto de microorganismos degradadores en el espectro del polietileno de baja densidad a través de técnicas estadísticas multivariadas*. Cuenca - Ecuador : Universidad Politécnica Salesiana, 2022. tesis.
5. Charri Macassi, Katherine Milagros y Huamán Torres, Cynthia Fiorella. *Actividad del aceite esencial de Cinnamomum zylanicum "canela" frente a biopelículas de Pseudomonas aeruginosas y staphylococcus aureus inducidas in vitro sobre lentes de contacto blandos*. Lima, Perú : Universidad Mayor de San Marcos, 2017.
6. Barbarán Silva, Hellen Maripaz, Cabanillas Paredes, Lilian Janey y Rubio Rodríguez, Yoselin Escarlet. *Biodegradación de polietileno tereftalato (PET) por acción de Pseudomonas aeruginosa, en condiciones de laboratorio*. Trujillo : Universidad César Vallejo, 2018.
7. Gutierrez Alvarez, Ana Ivana. *Biodegradación de Polietileno de Baja Densidad utilizando hongos, bacterias y consorcios microbianos aislados del botadero municipal de Tacna*. Tacna : Universidad Privada de Tacna, 2019.
8. *Biodegradación de polímeros de plásticos por Pseudomonas*. Ccallo Arelas, Magali, y otros. 2, Lima : Ciencia, Tecnología y Desarrollo - UPEU, 2020, Vol. 6. 46-59.
9. SOTO, Ximena. *Guía de contenidos N° 1. Solubilidad*. Chile : s.n. págs. 1-2.

10. Litoral, Universidad Nacional del. *Físico-química biológica*. Argentina : s.n., 2018. pág. 4.
11. Ortuño Sanchez. *Manual Práctico de Aceites Esenciales, Aromas y Perfumes* . [En línea] 2006. [Citado el: 23 de Agosto de 2022.] <https://es.pdfdrive.com/manual-pr%C3%A1ctico-de-aceites-esenciales-aromas-y-perfumes-d187316165.html>.
12. MARTINEZ, Alejandro. *Aceites esenciales*. Colombia : s.n., 2003. págs. 1-2.
13. *COMPOSICIÓN QUÍMICA, ACTIVIDAD ANTIBACTERIANA DEL CITRUS SINENSIS Y FORMULACIÓN DE UNA FÓRMULA FARMACÉUTICA*. José R. Juárez, Américo J. Castro, José F. Jaúregui, Jesús V. Lizano, Mario Carhuapoma, Fritz F. Choquesillo, Luis M. Félix,. 13, Lima : Ciencia e Investigación, 2010, Vol. 1. 9-13.
14. *Poliestireno Expandido (EPS) y su problemática ambiental*. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. 36, s.l. : Revista de Divulgación, 2013, Revista de Divulgación, Vol. 19. ISSN-1665-0514.
15. ANAPE. Poliestireno expandido. *Asociacion Nacional de Poliestireno Expandido*. [En línea] 2022. [Citado el: 23 de Agosto de 2022.] <http://www.anape.es/index.php?accion=producto&subaccion=proceso-de-fabricacion#procesofabrica>.
16. Arriola Lara, Enma Aracely y Velásquez Martell, Fidel Ernesto. *EVALUACION TECNICA DE ALTERNATIVAS DE RECICLAJE DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)*. El Salvador : Universidad de El Salvador, 2013.
17. *Las propiedades del EPS*. Interempresas. ESPAÑA : s.n., 2002.
18. *LA DEGRASACION DE LOS PLASTICOS*. BUSTAMANTE POSADA, BEATRIZ. 94, s.l. : Revista Universidad Eafit, pág. 68.
19. LOAIZA ARCILLA, DIANA SOFIA. *Análisis de la aplicación de microorganismos para la degradación de plásticos*. COLOMBIA-BOGOTA : s.n., 2022. pág. 50.

20. *Poliestireno expandido: un estudio bibliométrico para comparar sus avances e investigaciones en los idiomas español e inglés*. Valdés. 1, s.l. : Revista de la Alta Tecnología y Sociedad, 2021, Vol. 13. ISSN 1940-2171.
21. Lozada Alarcón, Susan Indira. Recuperación del poliestireno expandido (EPS) con aceite esencial de naranja, Lima 2017. *Repositorio Universidad Cesar Vallejo*. [En línea] 2017. [Citado el: 15 de Junio de 2022.] <https://hdl.handle.net/20.500.12692/3564>.
22. Equipo Editorial INTAGRI. El Cultivo de la Naranja. [En línea] [Citado el: 1 de agosto de 2022.] <https://www.intagri.com/articulos/frutales/el-cultivo-de-la-naranja>.
23. Cáscara. *EcuRed*. [En línea] [Citado el: 6 de Agosto de 2022.] <https://www.ecured.cu/C%C3%A1scara>.
24. *The pyocins of Pseudomona aeruginosa*. Briand, Yvon Michel y Baysse, Christine. 5-6, s.l. : Biochimie, 2022, Vol. 84. 499-510.
25. Degradación & Biodegradación de Plásticos, RESUMEN. Asociación Nacional De La Industria Química, A. C [En línea] 2018. [Citado el: 28 de abril de 2024.]
26. Ortuño Sánchez, Manuel. *Manual Práctico de Aceites esenciales, aromas y perfumes*. [En línea] 2006. [Citado el: 23 de Agosto de 2022.] <https://es.pdfdrive.com/manual-pr%C3%A1ctico-de-aceites-esenciales-aromas-y-perfumes-d187316165.html>.
27. Solubilidad . *QUIMICA.ES*. [En línea] [Citado el: 7 de Agosto de 2022.] <https://www.quimica.es/enciclopedia/Solubilidad.html>.
28. *Manejo de residuos sólidos en América Latina*. Sáez, Alejandrina y Urdaneta G, Joheni A. 121-135, Maracaibo, Venezuela : Universidad del Zulia, 2014, Vol. 20. 3.
29. *Uso de un solvente verde para la reducción del volumen del poliestireno expandido en un establecimiento educativo*. Jiménez-Rojas, E., Pulgarín-Penagos, S., Vásquez-Tuberquia, M. A., Gómez-Jaramillo, C., Granda-Ramírez, C. F., & Hincapié-Mejía, G. 1, s.l. : Revista Ing-Nova, 2022, Vol. 1, págs. 18-29.
30. Oviedo, OFB. Juana Tobar y Gutierrez, Fidel Martinez. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSI. *FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS*. [En

[En línea] 01 de 2017. [Citado el: 22 de 12 de 2022.]
<https://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/bitstream/handle/i/4397/Manual%20Microbiolog%C3%ADa%20General.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

31. Lozasa Alarcón, Susan Indira. recuperación del poliestireno expandido(EPS) con aceite esencial de naranja, Lima 2017. *Repositorio Universidad Cesar Vallejo*. [En línea] 2017. [Citado el: 17 de Junio de 2022.]
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/3564>.

32. *Estudio del aceite esencial de la cáscara de la naranja dulce (citrus sinensis, variedad valenciana) cultivada en Labateca*. Yáñez Rueda X, Lugo Mancilla L. L, Parada Parada D. Y. 1, Norte de Santander-Colombia : BISTUA, 2007, Vol. 5. 3-8.

33. Equipos y laboratorio de colombia S.A.S. *Solubilidad*. [En línea] 2021. [Citado el: 26 de agosto de 2022.] <https://www.equiposylaboratorio.com/portal/articulo-ampliado/solubilidad>.

34. *The pyocins of Pseudomonas aeruginosa*. Briand, Yvon Michel y Baysse, Christine. 5-6, s.l. : Biochimie, 2002, Vol. 84. 499-510.

35. RODRIGUEZ LIRA, GIANINA. *DETERMINACION DEL EFECTO ANTIBACTERIANO IN VITRO DE LA RIVINA HUMILIS L. (Flor Blanca) SOBRE EL CRECIMIENTO DE Escherichia Coli, Staphylococcus Aereus y Pseudomonas Aeruginosas*. Arequipa- Perú : Repositorio UCSM, 2012.

36. Manzanares Villanueva Katia; Paredes Pérez Melva Irene. *ANTIBIOSIS DE SECRECIONES LATICÍFERAS DE PLANTAS NATIVAS AMAZÓNICAS FRENTE A Pseudomonas aeruginosa Y Staphylococcus aureus*. IQUITOS- PERÚ: Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, 2017.

ANEXOS:

Anexo N° 01: RECOLECCIÓN DE CASCARA DE NARAJA EN LA CIUDAD DE IQUITOS.

Fig. 1.1. Entrega de bolsas en los puntos de venta en la ciudad de Iquitos.



Fig. 1.2. Recolección de los residuos de cascara de Naranja en la ciudad de Iquitos.



Fig. 1.3. Secado y pesado de los residuos de cascara de Naranja.



Anexo N° 02: PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE RESIDUOS CASCARA DE NARAJA.

Fig. 2.1. Triturado de los residuos de cascara de Naranja.



Fig. 2.2. Extracción de aceite esencial mediante la hidrodestilación.



Fig. 2.3. Obtención del aceite esencial de los residuos de cascara de naranja.



Anexo N° 03: Proceso de búsqueda de la *Pseudomonas aeruginosa*

Fig. 3.1. Muestreo del motor de un carro



Fig. 3.2. Muestreo de bandeja de aceite



Fig. 3.3. Placa de Agar MacConkey con muestra de *Pseudomonas aeruginosa*.



Anexo N° 04: DILUCIÓN DE POLIESTIRENO EXPANDIDO.

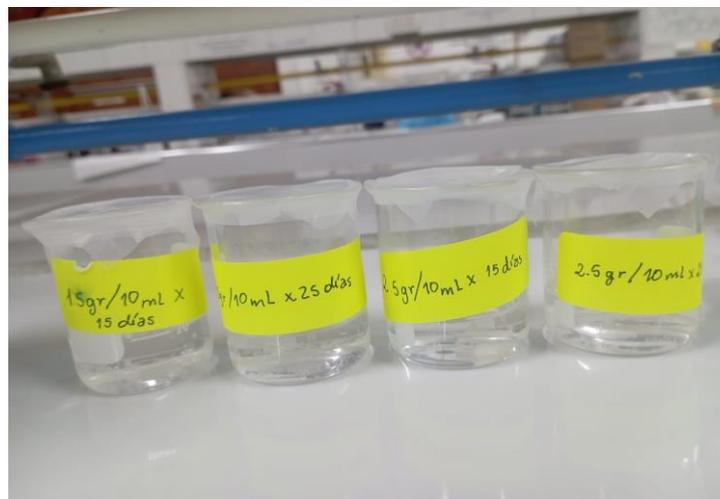
Fig. 4.1. Secado de poliestireno expandido.



Fig. 4.2. Preparación del aceite esencial de cascara de naranja.



Fig. 4.3. Poliestireno expandido solubilizado en diferentes medidas.



Anexo N° 05: DEGRADACIÓN DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO SOLUBILIZADO.

Fig. 5.1. Tubos de ensayo con poliestireno expandido solubilizado día 1.

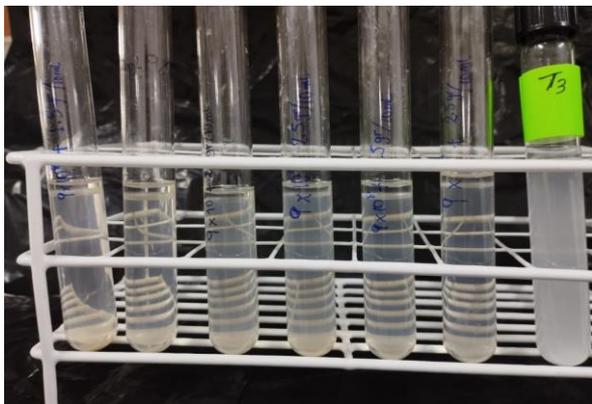


Fig. 5.2. Tubos de ensayos con poliestireno expandido solubilizado día 5.



Fig. 5.3 tubos de ensayo con poliestireno expandido solubilizado día 15.

