

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS  
NATURALES**



## **“PRODUCCIÓN DE HIDROCARBÓN Y BIOCARBÓN PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES BÁSICAS DE RESIDUOS SEMISÓLIDOS DE LA INDUSTRIA PESQUERA, TAMBO DE MORA - CHINCHA, 2024”**

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES**

### **AUTORES:**

JERSON JOHNATAN VALIENTE TERRONES

RONALD JULIAN GOMEZ ESTACIO

### **ASESOR:**

MTRO. CARLOS ODORICO TOME RAMOS

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL AMBIENTE**

**Callao, 2024**

**PERÚ**





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES**

VIII CICLO TALLER DE TESIS



**ANEXO 3**

**ACTA N° 002-2024 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES.**

**LIBRO 01 FOLIO No. 158 ACTA N°002-2024 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES.**

A los 15 días del mes de junio del año 2024, siendo las 15:00 horas, se reunieron en el auditorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales, el **JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS** para la obtención del **TÍTULO Profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales** de la **Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales**, conformado por los siguientes docentes ordinarios de la **Universidad Nacional del Callao**:

<b>Ms.C.</b>	<b>María Teresa Valderrama Rojas</b>	<b>: Presidente</b>
<b>Mg.</b>	<b>Luís Enrique Lozano Vieytes</b>	<b>: Secretario</b>
<b>Mtra.</b>	<b>Janet Mamani Ramos</b>	<b>: Vocal</b>
<b>Mtro.</b>	<b>Carlos Odorico Tome Ramos</b>	<b>: Asesor</b>

Con el quórum reglamentario de ley, de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente, y habiendo cumplido con los requisitos para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales, se dio inicio al acto de sustentación de la tesis, de los bachilleres Jerson Johnatan Valiente Terrones y Ronald Julian Gomez Estacio, titulada: "PRODUCCIÓN DE HIDROCARBÓN Y BIOCARBÓN PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES BÁSICAS DE RESIDUOS SEMISÓLIDOS DE LA INDUSTRIA PESQUERA, TAMBO DE MORA - CHINCHA, 2024", cumpliendo con la sustentación en acto público, de manera presencial en el auditorio de la Facultad;

Luego de la exposición, la absolución de las preguntas formuladas por el Jurado y efectuadas las deliberaciones pertinentes, el jurado acordó: Dar por **APROBADO** la presente tesis, con la escala de calificación cualitativa **BUENO** y calificación cuantitativa **CATORCE (14)**, conforme a lo dispuesto en el Art. 24 del Reglamento de Grados y Títulos de la UNAC, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 150-2023-CU del 15 de junio de 2023.

Se dio por cerrada la Sesión a las 16:00 horas del día sábado 15 de junio del año en curso.

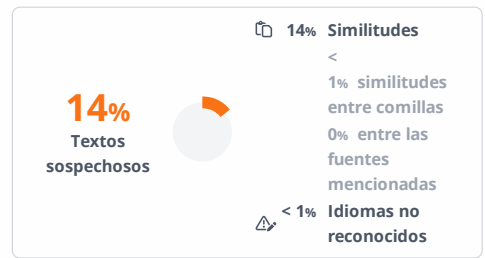
\_\_\_\_\_  
**Presidente**  
**Ms.C. María Teresa Valderrama Rojas**

\_\_\_\_\_  
**Secretario**  
**Mg. Luís Enrique Lozano Vieytes**

\_\_\_\_\_  
**Vocal**  
**Mtra. Janet Mamani Ramos**

\_\_\_\_\_  
**Asesor**  
**Mtro. Carlos Odorico Tome Ramos**

# 1A; GOMEZ ESTACIO-Ronald Julian; VALIENTE TERRONES-Jerson Johnatan; VALERIO BOBADILLA-Lourdes Herlinda; TESIS CON CT.



<p><b>Nombre del documento:</b> 1A; GOMEZ ESTACIO-Ronald Julian; VALIENTE TERRONES-Jerson Johnatan; VALERIO BOBADILLA-Lourdes Herlinda; TESIS CON CT..pdf  <b>ID del documento:</b> e4dd836efcf4a9fed35d53fbb3ae04db00eea7d  <b>Tamaño del documento original:</b> 1,63 MB  <b>Autores:</b> []</p>	<p><b>Depositante:</b> FIARN PREGRADO UNIDAD DE INVESTIGACION  <b>Fecha de depósito:</b> 11/6/2024  <b>Tipo de carga:</b> interface  <b>fecha de fin de análisis:</b> 11/6/2024</p>	<p><b>Número de palabras:</b> 17.379  <b>Número de caracteres:</b> 115.570</p>
--	---	--

Ubicación de las similitudes en el documento:



## Fuentes de similitudes

### Fuentes principales detectadas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	<b>1A; GUILLEN ZAPATA-Jesús Giovanni, VARGAS LEYVA-Jhon Sylvester; YAC...</b> #efd285 El documento proviene de mi biblioteca de referencias	6%		Palabras idénticas: 6% (1039 palabras)
2	<b>repositorio.ucv.edu.pe</b>   Estudio comparativo de la adsorción del biocarbón y carb... https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/91600 3 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (215 palabras)
3	<b>alicia.concytec.gob.pe</b>   Descripción: Estudio comparativo de la adsorción del bioc... https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCVV_df6bc449793d26fff80ef89ca3db0df7#:~:text=La... 3 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (211 palabras)
4	<b>repositorio.ucv.edu.pe</b>   Producción y aplicación de biocarbón a partir de biomasa... https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/60501 1 fuente similar	1%		Palabras idénticas: 1% (207 palabras)
5	<b>repositorio.ucv.edu.pe</b>   Revisión sistemática: Obtención de biocarbón a partir de ... https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/104255 2 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (205 palabras)

### Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	<b>Archivo 1 1A, Ramirez Olaya, Rigoberto Pelagio-Informe Final-2024.docx ...</b> #df7df9 El documento proviene de mi grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (26 palabras)
2	<b>riunet.upv.es</b> https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/30137/Tesina Estefania Ponce.pdf?sequence=1	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (21 palabras)
3	<b>pascua.iit.comillas.edu</b> https://pascua.iit.comillas.edu/aramos/simio/transpa/t_mod1_ar.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (19 palabras)
4	<b>Documento de otro usuario</b> #688de1 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (16 palabras)
5	<b>doi.org</b>   Análisis del comportamiento de variables ambientales y sociales como fa... https://doi.org/10.14350/rig.60187	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (11 palabras)

### Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas) Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

1	https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/torrefaction
2	https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/pyrolysis
3	https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/hydrochar
4	https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/degree-of-carbonization
5	https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/carbonization-process

## **HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO Y APROBACIÓN**

### **MIEMBROS DEL JURADO EVALUADOR**

Presidente: MsC. María Teresa Valderrama Rojas

Secretario: Mg. Luis Enrique Lozano Vieytes

Vocal: Mtra. Janet Mamani Ramos

Asesor: Mtro. Carlos Odorico Tome Ramos

Nº DE LIBRO: 01

Nº DE FOLIO: 158

Nº DE ACTA: 002-2024

FECHA DE APROBACION DE TESIS: 15 DE JUNIO, 2024

## **INFORMACIÓN BÁSICA**

**FACULTAD:** INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

**UNIDAD DE INVESTIGACIÓN:** UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES.

**TÍTULO:** “PRODUCCIÓN DE HIDROCARBÓN Y BIOCARBÓN PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES BÁSICAS DE RESIDUOS SEMISÓLIDOS DE LA INDUSTRIA PESQUERA, TAMBO DE MORA - CHINCHA, 2024”

**AUTOR (es):** JERSON JOHNATAN VALIENTE TERRONES/ CODIGO ORCID: 0009-0005-0182-0734/ DNI: 47127464

RONALD JULIAN GOMEZ ESTACIO/ CODIGO ORCID: 0009-0001-2200-0517/ DNI: 47368510

**ASESOR:** MTRO. CARLOS ODORICO TOME RAMOS/ CODIGO ORCID: 0000-0003-4528-162X/ DNI: 07685630.

**LUGAR DE EJECUCIÓN:** INDUSTRIA PESQUERA, TAMBO DE MORA - CHINCHA.

**UNIDAD DE ANÁLISIS:** RESIDUOS SEMISOLIDOS DE LA INDUSTRIA PESQUERA

**TIPO/ ENFOQUE/DISEÑO DE INVESTIGACIÓN:**

BÁSICA/CUANTITATIVO/EXPERIMENTAL

**TEMA OCDE:** 1. 05 CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL AMBIENTE

## **DEDICATORIA**

A mi familia, mis padres quienes siempre dedicaron sus recursos en mis estudios, fuente de mi fortaleza y motor para superarme en el camino de lograr mis metas.

Mi madre, Gladys Estacio Hermosilla, desde el cielo guía mis pasos además de protegerme día a día.

### **Ronald Julian Gomez Estacio**

Dedico este trabajo a mis padres, Loidith Terrones Diaz y Cesar Valiente Paz cuyo amor incondicional, sacrificio y apoyo constante han sido la fuente de mi fortaleza y determinación a lo largo de mi vida y mi carrera académica. Su ejemplo de perseverancia y dedicación ha sido mi inspiración.

A mi querida novia Fiorella Diaz Sanchez, por su comprensión, paciencia y aliento incondicional en cada etapa de este viaje. A mi hermano Jhordy Valiente Terrones, por su amor, compañerismo y ánimo constante.

A mi amada hija Mariana Valiente Diaz, quien ha sido mi mayor fuente de inspiración y motivación a lo largo de este camino. Tu sonrisa, tu amor incondicional y tu presencia han iluminado cada día de esta travesía.

### **Jerson Johnatan Valiente Terrones**

## **AGRADECIMIENTOS**

Queremos expresar nuestra profunda gratitud a todas las personas e instituciones que contribuyeron de manera significativa a la realización de este trabajo de investigación.

En primer lugar, agradecer a nuestro asesor de Tesis, Mtro. Carlos Tome Ramos, por su guía experta, su apoyo constante y sus valiosos comentarios a lo largo de todo este proceso. Su dedicación y compromiso fueron fundamentales para el éxito de esta Tesis.

También queremos agradecer a todos los profesores del VIII Ciclo Taller de Tesis por su inspiración, sus enseñanzas y su influencia en nuestra Tesis. Sus conocimientos y perspectivas han enriquecido enormemente mi comprensión del tema.

Agradecemos profundamente a nuestras familias por su amor incondicional, su aliento constante y su apoyo inquebrantable a lo largo de los años. Su sacrificio y comprensión han sido nuestra mayor fortaleza.

No podemos dejar de reconocer a nuestra casa de estudios, la Universidad Nacional del Callao, y en específico a la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales, por albergarnos durante nuestra formación.

A todas estas personas e instituciones, nuestros más sinceros agradecimientos por su apoyo, su orientación y su contribución a este proyecto. Este logro no habría sido posible sin ustedes



# ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO .....	6
INDICE DE TABLAS .....	10
INDICE DE FIGURAS.....	11
INDICE DE ABREVIATURAS .....	13
RESUMEN .....	14
ABSTRACT.....	15
INTRODUCCIÓN .....	16
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
1.1. Descripción de la realidad problemática .....	18
1.2. Formulación del problema .....	20
1.2.1. Problema General .....	20
1.2.2. Problemas Específicos.....	20
1.3. Objetivos.....	21
1.3.1. Objetivo general .....	21
1.3.2. Objetivos específicos .....	21
1.4. Justificación .....	21
1.4.1. Ambiental .....	21
1.4.2. Social .....	22
1.4.3. Económica .....	22
1.4.4. Metodológica.....	23
1.5. Delimitantes de la Investigación .....	23
II. MARCO TEÓRICO .....	25
2.1. Antecedentes.....	25

2.1.1.	Internacional.....	25
2.1.2.	Nacional .....	29
2.2.	Bases Teóricas .....	33
2.2.1.	Teoría del biocarbón .....	33
2.2.2.	Teoría de la carbonización hidrotermal .....	38
2.2.3.	Teoría de la Optimización .....	43
2.2.4.	Los parámetros básicos de materiales carbonos .....	45
2.2.5.	Marco legal.....	48
2.3.	Marco Conceptual.....	52
2.3.1.	Producción de hidrocarbón y biocarbón .....	52
2.3.2.	Optimización de las propiedades básicas .....	53
2.4.	Definición de términos básicos .....	54
III.	HIPOTESIS Y VARIABLES.....	56
3.1.	Hipótesis .....	56
	Hipótesis general .....	56
	Hipótesis específicas .....	56
3.1.1.	Operacionalización de la variable.....	57
IV.	METODOLOGÍA .....	58
4.1.	Diseño metodológico .....	58
4.2.	Método de investigación .....	58
4.2.1.1.	Recolección y caracterización de los residuos semisólidos..	59
4.2.2.	Determinación de la eficiencia de producción de biocarbón e hidrocarbón.....	60
4.2.3.	Optimización de la producción de hidrocarbón .....	60
4.2.4.	Optimización de la producción de biocarbón.....	62
4.3.	Población y muestra .....	64

4.3.1.	Población .....	64
4.3.2.	Muestra .....	65
4.4.	Lugar de estudio y periodo desarrollado.....	65
4.5.	Técnicas e instrumentos para la recolección de información.....	66
4.5.1.	Técnica.....	66
4.5.2.	Instrumento .....	66
4.6.	Análisis y procesamientos de datos.....	67
4.7.	Aspectos éticos en investigación .....	69
V.	RESULTADOS .....	70
5.1.	Resultados descriptivos .....	70
5.1.1.	Eficiencia de producción de biocarbón e hidrocarbón .....	70
5.1.2.	Caracterizaciones de las propiedades básicas del biocarbón e hidrocarbón.....	72
5.1.3.	Efecto de la producción de hidrocarbón .....	75
5.2.	Resultados Inferenciales.....	77
5.2.1.	Resultados inferenciales de la producción de biocarbón .....	77
5.2.2.	Resultados inferenciales de la producción de hidrocarbón .....	79
5.2.3.	Resultados de optimización .....	82
5.2.4.	Resultados inferenciales del hidrocarbón óptimo y biocarbon óptimo	83
5.3.	Otro tipo de resultados estadísticos, de acuerdo a la naturaleza del problema y la hipótesis.....	84
VI.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	85
6.1.	Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados...	85
6.2.	Contrastación de los resultados con estudios similares.....	87
6.3.	Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes .....	88
VII.	CONCLUSIONES .....	89

VIII. RECOMENDACIONES .....	90
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	91
ANEXOS.....	98
Anexo 1- Matriz de consistencia.....	98
Anexo 2- Instrumentos validados .....	99
Anexo 3. Consentimiento informado en caso de ser necesario.....	107
Anexo 4. Base de datos .....	108
Anexo 5. Otros anexos necesarios de acuerdo a la naturaleza del problema. .....	117

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tipos de pirólisis .....	36
Tabla 2 Criterios para la evaluación del biocarbón asociada al uso como enmienda de suelo.....	48
Tabla 3. Matriz de Operacionalización.....	57
Tabla 4 Matriz experimental para la producción de hidrocarbón.....	62
Tabla 5 Matriz experimental para la producción de biocarbón.....	64
Tabla 6 Cuadro de Técnicas e Instrumentos para la recolección de información .....	67
Tabla 7 Análisis de ensayo .....	67
Tabla 8 Eficiencia de producción del hidrocarbón.....	70
Tabla 9 Eficiencia de producción del biocarbón.....	71
Tabla 10 Análisis de las propiedades básicas de los lodos residuales, hidrocarbón y biocarbón .....	72
Tabla 11 Matriz ANOVA la eficiencia de producción (%) de biocarbón a diferentes temperaturas y tiempos de pirólisis .....	79
Tabla 12 Matriz ANOVA la eficiencia de producción (%) de hidrocarbón a diferentes temperaturas y tiempos de carbonización.....	81
Tabla 13 Prueba de T-student entre el biocarbón e hidrocarbón .....	84

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Múltiples mecanismos mediante los cuales los biocarbón pueden retener elementos .....	35
Figura 2 Rendimiento de obtención de biocarbón en cada pirolisis .....	37
Figura 3 La reacción que tiene lugar en el procedimiento de HTC .....	38
Figura 4 Diagrama de Van Krevelen.....	39
Figura 5 Diagrama de van Krevelen aplicado a carbones de HTC procedentes de RSU. ....	40
Figura 6 Procesos hidrotérmicos .....	41
Figura 7 Objetivos de la aplicación del biocarbón.....	42
Figura 8 Criterio de la calidad Según G. Taguchi. ....	47
Figura 9 Diagrama de los procedimientos experimentales .....	59
Figura 10 Reactor pirolítico.....	61
Figura 11 Partes del reactor de pirolisis para producción de biocarbón .....	63
Figura 12 Mapa de ubicación de la empresa pesquera .....	66
Figura 13 Espectro infrarrojo FTIR-ATR del biocarbón.....	74
Figura 14 Espectro infrarrojo FTIR-ATR del hidrocarbón.....	74
Figura 15. Efectos del tiempo en la eficiencia de producción (%).....	75
Figura 16. Efectos de la temperatura en la eficiencia de producción (%) ....	76
Figura 17 Efectos de la temperatura y tiempo en la eficiencia de producción (%) .....	76
Figura 18 Gráfica de la normalidad de eficiencia de producción de biocarbón .....	77
Figura 19 Homogeneidad de la varianza de eficiencia de producción de biocarbón .....	78
Figura 20 Gráfica de la normalidad de eficiencia de producción de hidrocarbón .....	80

Figura 21 Homogeneidad de la varianza de eficiencia de producción de hidrocarbón.....	80
Figura 22. Optimización de la eficiencia de producción del hidrocarbón .....	82
Figura 23 Optimización de la eficiencia de producción del Biocarbón .....	83

## INDICE DE ABREVIATURAS

**HTC:** Carbonización Hidrotermal

**IBI:** International Biochar Initiative

**pH:** Potencial de hidrógeno

**D.S:** Decreto Supremo

**P:** Fosforo

**N:** Nitrógeno

**K:** Potasio

**°C:** Grados Celsius

**C<sub>org.</sub>** Carbono orgánico



## RESUMEN

La finalidad de la investigación fue determinar la producción óptima entre hidrocarbón y biocarbón, evaluando su eficiencia y propiedades básicas, utilizando residuos semisólidos de la industria pesquera. El objetivo fue determinar la producción óptima entre el hidrocarbón y biocarbón a través de su eficiencia y propiedades básicas obtenidos a partir de residuos semisólidos de la industria pesquera. La metodología de la investigación es de tipo básica, de enfoque cuantitativo, de nivel explicativo y experimental. Las muestras de residuos semisólidos se obtuvieron de una industria pesquera dedicada a la producción de harina y aceite de pescado de anchoveta (*Engraulis ringens*) ubicada en la Tambo de Mora, Chincha; éstas fueron previamente secadas y tamizadas, para posteriormente llevar a cabo el proceso de pirólisis en un reactor pirolítico de 5 litros de capacidad a diferentes tiempos y temperaturas. La eficiencia de producción se obtuvo por medio de sus pesos antes y después del proceso de pirolisis de los cuales a los tres productos más eficientes se obtendrán sus propiedades básicas en laboratorio relación ( $C_{org}$ , N, P, K, humedad, ceniza, relación H:C y análisis de espectroscopia infrarroja FTIR). Para la estadística inferencial se usó el modelo Box-Bencken con un modelo de segundo orden para optimizar la eficiencia de producción de biocarbón e hidrocarbón y se aplicó la prueba de normalidad, homogeneidad de varianza y ANOVA con un *p-value* menor al nivel de significancia de 0.05. Los resultados mostraron que el tiempo de carbonización y la temperatura son significativos  $p < 0.05$  sobre la eficiencia de producción de biocarbón e hidrocarbón, así también las pruebas t-student muestran que existe una diferencia significativa entre las propiedades básicas con excepción del  $C_{org}$ . Se concluyó que existe una variabilidad en las propiedades fisicoquímicas entre el biocarbón e hidrocarbón de los lodos de industria pesquera.

**Palabras claves:** hidrocarbón, biocarbón, pirólisis, lodos, pesquera

## ABSTRACT

The purpose of the research was to determine the optimal production between hydrochar and biochar, evaluating their efficiency and basic properties, using semi-solid waste from the fishing industry. The objective was to determine the optimal production between hydrochar and biochar through their efficiency and basic properties obtained from semi-solid waste from the fishing industry. The research methodology is basic, with a quantitative approach, at an explanatory and experimental level. The semi-solid waste samples were obtained from a fishing industry dedicated to the production of anchovy fish meal and oil (*Engraulis ringens*) located in Tambo de Mora, Chincha; These were previously dried and sieved, to later carry out the pyrolysis process in a 5-liter pyrolytic reactor at different times and temperatures. The production efficiency was obtained through their weights before and after the pyrolysis process, from which the three most efficient products will obtain their basic properties in the laboratory relationship ( $C_{org}$ , N, P, K, humidity, ash, H ratio: C FTIR infrared spectroscopy analysis). For inferential statistics, the Box-Bencken model was used with a second-order model to optimize the efficiency of biochar and hydrochar production and the normality, homogeneity of variance and ANOVA test was applied with a p-value lower than the level of significance. of 0.05. The results showed that Carbonization Time and Temperature are significant  $p < 0.05$  on the production efficiency of Biochar and Hydrochar, and the t-student tests also show that there is a significant difference between the basic properties with the exception of TOC. It was concluded that there is variability in the physicochemical properties between biochar and hydrochar from fishing industry sludge.

**Keywords:** *Hydrochar, biochar, pyrolysis, sludge, fishing.*

## INTRODUCCIÓN

La industria procesadora de pescado produce grandes cantidades de residuos contaminantes, entre ellos los lodos residuales (López Anchundia et al., 2019). El lodo que se extrae y produce en las operaciones y procesos de la industria pesquera es líquido o semilíquido, con sólidos que representan entre el 0,25 y el 12% de su peso, siendo este un problema alarmante (Cardoso et al., 2003). Actualmente, la preparación de materiales carbonosos, permiten la valorización de materiales residuales, por ejemplo, el biocarbón como material carbonoso es de fácil producción, bajo costo y amplia disponibilidad (Fang et al., 2021). Por otro lado, el hidrocarbón producido por la carbonización hidrotermal con lodos es un método prometedor para mejorar la producción de energía y lograr un uso respetuoso con el medio ambiente (Robinson et al., 2003). Sin duda, ambas tecnologías son prometedoras en cuanto al aprovechamiento sostenible de la biomasa.

El biocarbón y el hidrocarbón representan dos enfoques distintos para la transformación de biomasa en formas carbonizadas con diversas aplicaciones. El biocarbón se produce mediante la carbonización de biomasa a altas temperaturas en ausencia de oxígeno, generando un material sólido carbonizado con propiedades similares a la biomasa original, mientras que el hidrocarbón implica la descomposición de la biomasa en presencia de agua a temperaturas moderadas y presiones elevadas, dando lugar a un producto carbonoso con características químicas y estructurales potencialmente distintas, teniendo esta investigación la finalidad de comparar ambas producciones en la valorización del residuo semisólidos de la industria pesquera.

De acuerdo a esto, la presente investigación tiene como finalidad determinar la producción del hidrocarbón y biocarbón a partir del material residual semisólidos de la industria pesquera y optimizar sus propiedades básicas. Esta investigación es de tipo básica, de enfoque cuantitativo de nivel explicativo y experimental.

La tesis se estructura en seis capítulos que abordan la disposición a pagar por conservar o mejorar los servicios ecosistémicos. El Capítulo I plantea el problema, destacando la falta de investigaciones específicas en este ámbito. El Capítulo II presenta el marco teórico, revisando estudios previos y normativa relevante. En el Capítulo III se formulan las hipótesis y se definen las variables del estudio. El Capítulo IV metodología de la investigación, incluyendo el método, la población, la muestra, el lugar de estudio y las técnicas de recolección de datos. El Capítulo V presenta los resultados descriptivos e inferenciales del experimento. Finalmente, el Capítulo VI discute los resultados, contrastando las hipótesis y comparándolas con estudios similares, evaluando la coherencia y validez de los hallazgos para las propiedades básicas del hidrocarbón e biocarbón generados de lodos de la industria pesquera.

# I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## 1.1. Descripción de la realidad problemática

La producción de lodos industriales ha aumentado a nivel mundial, debido al incremento del nivel industrial global (Zhang et al., 2020). El alto consumo de agua y el alto contenido de materia orgánica y sal en las aguas residuales son características de las industrias pesqueras (Álvarez et al., 2023). La Industria Pesquera requiere una gran cantidad de agua, por lo que sus plantas generan alrededor de 14300 metros cúbicos de efluentes diariamente (Dhanke et al., 2019). Dichas industrias contaminan las aguas receptoras con una gran cantidad de salinidad y contaminación orgánica (Kurt y Molina, 2019). De hecho, se utiliza una gran cantidad de agua en todos los pasos de este tipo de industrias, como la limpieza, la cocción, el enfriamiento, la desinfección y el lavado de pisos, generando así un impacto negativo probablemente irreversible (Chowdhury et al., 2010).

Considerablemente, la industria pesquera en Latinoamérica es un sector que produce desechos muy peligrosos para los ecosistemas, ya que los niveles de materia orgánica, lodos, aceites y grasas en las aguas residuales de esta industria superan los límites permitidos de cada país, para la descarga en los cuerpos hídricos (López Anchundia et al., 2019). Por ejemplo, Ecuador, las descargas líquidas de la industria pesquera de la ciudad de "Manta" incluyen desechos salinos y fragmentos de aceites y grasas, esta cantidad de materia orgánica, expresada en función de DQO y DBO, es otro parámetro que refleja el alto impacto ambiental que genera este residuo (López Anchundia et al., 2019).

Durante los últimos diez años, el Perú ha recibido en promedio 4,21 millones de toneladas de anchoveta (*Engraulis ringens*) para la producción de harina de pescado en la industria pesquera (Produce, 2016), donde los grandes volúmenes de agua que transportan el pescado desde los almacenes a las fábricas se contaminan. Esto se conoce como "bombeo de agua" y contiene sólidos en suspensión que contienen muchos contaminantes (Martí et al., 1994). A nivel nacional, la industria pesquera ha experimentado cambios

intermitentes a lo largo del tiempo. Uno de estos cambios fue la depredación de la anchoveta en la década de 1980 por parte de la sardina (Hidalgo y Vélez, 2001). La industria pesquera "Santa Mónica SA" en Paita - Perú, produce efluentes de lodos residuales durante el proceso de congelación gracias al lavado de la materia prima (Madrid, 2020).

La industria pesquera de Tambo de Mora, en Chincha, es una empresa que produce harina de pescado en ciertas temporadas de año, tiene una producción de residuos semisólidos debido a los procesos de harina de pescado. Actualmente estos residuos semisólidos son dispuestos a un relleno sanitario mediante una empresa operadora de residuos sólidos, pero genera un alto gasto, y un impacto indirecto como carga ambiental.

Debido a la tendencia cada vez mayor de la industria pesquera a contaminar las aguas marinas, es necesario buscar alternativas para reducir su impacto (García Sifuentes et al., 2009). Muchos países están desarrollando vigorosamente diversas tecnologías para la eliminación y utilización de lodos para aprovechar al máximo este recurso sin causar contaminación ambiental (Zhang et al., 2020). Actualmente, las tecnologías de tratamiento de lodos incluyen digestión anaeróbica, incineración, pirólisis en la producción de biocarbón y carbonización hidrotermal o hidrocarbón (Cai et al., 2021).

La carbonización de la biomasa produce un material rico en carbono conocido como biocarbón e hidrocarbón. Además del contenido de carbono, este material contiene nutrientes que podrían mejorar las propiedades fisicoquímicas del suelo y proporcionar porosidad que mejoraría la retención de agua y nutrientes (Sánchez et al., 2021). De los productos carbonos el hidrocarbón puede utilizarse como complemento a otras tecnologías (Cavali et al., 2022). Por otro lado, el biocarbón, se pueden utilizar en una variedad de desechos orgánicos para su pirólisis, gasificación y HTC, entre ellos se tiene a los lodos residuales (Kabakçı y Baran, 2019).

Investigar como la valorización de los residuos semisólidos generados en la industria pesquera usando tecnologías emergentes es de fundamental para contribuir en la innovación en la empresa pesquera y reducir la carga ambiental negativa que genera la generación de estos tipos de residuos. Así

también, evaluar las diferencias entre el biocarbón y la carbonización hidrotermal es fundamental para comprender las propiedades, procesos de formación y aplicaciones potenciales de estos productos carbonizados derivados de la biomasa. Al examinar las características únicas de cada producto, como su composición elemental, estructura cristalina y porosidad, se puede optimizar su producción y explorar nuevas aplicaciones en y puesta en valor en diferentes sectores como la agricultura, la energía renovable y la remediación ambiental. Además, esta investigación puede proporcionar información crucial sobre el impacto ambiental y la sostenibilidad de estos procesos, contribuyendo así a una gestión más eficiente de los recursos naturales y a la reducción de las emisiones de carbono. Por lo tanto, evaluar la producción de ambos materiales carbonosos optimizando sus propiedades básicas permitiría ampliar la opción de valorización de los residuos semisólidos de la industria pesquera.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema General**

¿En qué medida la producción de hidrocarbón y biocarbón permite la optimización de las propiedades básicas de residuos semisólidos de la industria pesquera, Tambo de Mora – Chincha, 2024?

### **1.2.2. Problemas Específicos**

- ¿Cuál será la producción más eficiente de hidrocarbón mediante la optimización de tiempo y la temperatura de carbonización hidrotermal del proceso operacional?
- ¿Cuál será la producción más eficiente de biocarbón mediante la optimización de tiempo y la temperatura de pirólisis del proceso operacional?
- ¿Cuáles serán las diferencias de las propiedades básicas en la producción óptima de hidrocarbón y biocarbón?

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Evaluar en qué medida la producción de hidrocarbón y biocarbón permite la optimización de las propiedades básicas de residuos semisólidos de la industria pesquera, Tambo de Mora – Chincha, 2024.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Determinar la producción más eficiente de hidrocarbón mediante la optimización de tiempo y la temperatura de carbonización hidrotermal del proceso operacional.
- Determinar la producción más eficiente de biocarbón mediante la optimización de tiempo y la temperatura de pirólisis del proceso operacional.
- Comparar las propiedades básicas en la producción óptima de hidrocarbón y biocarbón.

### **1.4. Justificación**

#### **1.4.1. Ambiental**

En el tema ambiental, se busca una empatía con el medio ambiente, con una metodología de búsqueda de mejora continua, con la finalidad de mitigar los niveles de contaminación que se generan en los procesos de la industria pesquera. Tenemos los siguientes ítems:

Aprovechar los recursos que no se han utilizado, debido a que la industria de la pesca se enfoca en la optimización de procesos y la reducción de costos, la comparación entre la producción hidroeléctrica y la generación de nuevas fuentes de ingresos, la producción de hidrocarbón y biocarbón contribuye al desarrollo de un sector de bioproductos sostenibles, con ello, la investigación aumentará la competitividad y la diferenciación del sector. También a la capacidad de la industria pesquera para implementar prácticas ambientalmente responsables reduciendo la dependencia de la energía externa y por último la integración de la producción de hidrocarbón y biocarbón como fuente de energía puede reducirse.



Esta investigación contribuirá con alcanzar el objetivo prioritario; mejorar el desempeño ambiental de las cadenas productivas y de consumo de bienes y servicios aplicando la economía circular de la Política Nacional del Ambiente al 2030 aprobado por el Decreto Supremo N°023-2021-MINAM.

#### **1.4.2. Social**

La problemática vinculada a la disminución de los niveles de contaminación ambiental. Este enfoque busca contribuir a la creación de un entorno más saludable para los habitantes locales. Se anticipa que los resultados derivados de esta investigación serán beneficiosos, promoviendo así una mejora significativa en la calidad de vida en un entorno social equilibrado. Es crucial destacar que el impacto social que se puede generar se centra en el impacto de los lodos residuales de la industria pesquera, los cuales contienen una notable cantidad de materia orgánica y puede ser reaprovechable produciendo impactos positivos.

Esta investigación engloba en sus alcances la conservación del entorno marino y su biodiversidad que no solo brinda satisfacción a la comunidad, sino que también impulsa el turismo sostenible, facilita el acceso a energía sostenible y promueve el desarrollo local. Además, al fomentar prácticas sostenibles en la industria pesquera, la investigación tiene el potencial de generar empleo y fortalecer la comunidad. Asimismo, al abordar los riesgos para la salud asociados con la pesca, la investigación se concentra en el ecosistema acuático y busca reducir estos riesgos. Entre los beneficios adicionales se encuentran la promoción de la educación ambiental y la conciencia comunitaria, entre otros aspectos.

#### **1.4.3. Económica**

En el ámbito económico se tiene que, este problema, genera un impacto negativo al ambiente marino, causando la pérdida de muchas especies y por ende afectara las actividades de pesca de peces que son fuente de alimento para la población y el de materia prima para las industrias. Esto causa una pérdida económica a los pescadores y empresas que se dedican a la actividad de pesquería, si se continua sin ninguna alternativa, se perderá la materia prima necesaria. Producción de energía limpia y renovable: el hidrocarbón y

el biocarbón se pueden utilizar como fuentes de energía renovable y sostenible, lo que ayudaría a reducir la dependencia de combustibles fósiles y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. La producción de energía limpia y renovable es fundamental para mejorar la calidad del aire y reducir la contaminación, lo que a su vez mejora la salud y la calidad de vida de las personas.

#### **1.4.4. Metodológica**

La justificación metodológica en la producción de biocarbón y carbonización hidrotermal radica en la necesidad de comprender a fondo los procesos de formación, las propiedades y las aplicaciones de estos productos carbonizados derivados de la biomasa. Mediante un enfoque metodológico riguroso, es posible investigar las condiciones óptimas de producción para cada proceso, incluyendo variables como la temperatura, la presión, la duración del proceso y la composición de la biomasa utilizada. Además, es importante evaluar las propiedades físicas, químicas y estructurales de los productos obtenidos, como la composición elemental, la porosidad, la capacidad de adsorción y la estabilidad térmica. Esta comprensión detallada es fundamental para optimizar la producción y garantizar la calidad y consistencia del producto final. Además, una justificación metodológica sólida también implica explorar las diversas aplicaciones potenciales de biocarbón y carbonización hidrotermal en sectores como la agricultura, la energía, la industria y la remediación ambiental. Al desarrollar una metodología robusta, se puede maximizar el rendimiento y la eficiencia de estos procesos, lo que contribuye tanto a la investigación científica como al desarrollo tecnológico en el campo de los materiales carbonosos y la bioenergía.

### **1.5. Delimitantes de la Investigación**

#### **1.5.1. Teórico**

El alcance de la teoría se delimita en el proceso de biocarbón y el proceso de carbón hidrotermal, la teoría de calidad, teoría de optimización y la teoría de la eficiencia en la producción.

### **1.5.2. Temporal**

La industria pesquera tiene una producción temporal, de acuerdo a las épocas de la pesca, las cuales son de noviembre - enero y de abril - junio, por lo tanto, los lodos generados se conservarán para su posterior estudio. La investigación se llevará a cabo en los meses de marzo - abril del año 2024.

### **1.5.3. Espacial**

Este proyecto se llevará a cabo mediante los residuos semisólidos obtenidos en la industria pesquera ubicada en el distrito de Tambo de Mora, provincia de Chincha, departamento de Ica. Mientras que el procedimiento experimental con el reactor de carbonización se llevará a cabo en las instalaciones de la empresa operadora de residuos sólidos RESISOL que se encuentra en Carapongo, distrito de Lurigancho-Chosica, Lima Metropolitana.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

#### 2.1.1. Internacional

Lang et al., (2023), en su estudio **“Mejora de pellets de hidrocarbón/biocarbón preparados a partir de tallo de algodón mediante un proceso de pretratamiento hidrotermal”**, tuvo por objetivo realizar un pretratamiento hidrotermal (HT) para modificar los componentes internos de la biomasa para mejorar de manera eficiente el valor de uso integral del recurso. En este estudio, el tallo de algodón (CS) se sometió primero a un pretratamiento hidrotermal a temperaturas entre 180 y 280 °C, se densificó en gránulos de hidrocarbón y luego se pirolizó a 400 °C para producir gránulos de biocarbón. Se realizaron varios análisis de caracterización (SEM, XRD, etc.) para investigar cómo la evolución de los principales componentes (celulosa, hemicelulosa y lignina) en el CS durante el proceso HT afecta las propiedades fisicoquímicas de los gránulos de biocombustible resultantes. Los resultados muestran que el proceso HT mejora significativamente la calidad de la biomasa producida. A medida que la temperatura HT aumenta de 180 °C a 280 °C, el contenido de carbono en el hidrocarbón se incrementa del 46,91 % al 67,26 %, mientras que el contenido de oxígeno disminuye del 46,61 % al 26,0 %. Al mismo tiempo, el contenido de metales alcalinos en el CS disminuye considerablemente durante el proceso HT. Este proceso promueve una descomposición significativa de la hemicelulosa por debajo de 230 °C y de la celulosa por debajo de 280 °C, así como un aumento en la aromatización del CS resultante. La celulosa cristalina es el principal factor que contribuye a las propiedades mecánicas de los gránulos de hidrocarbón y biocarbón. En comparación con el gránulo de hidrocarbón, el gránulo de biocarbón presenta propiedades mucho más bajas debido a la descomposición de la celulosa cristalina durante la pirólisis. Las características de combustión del hidrocarbón disminuyen significativamente debido a la reducción del contenido de celulosa con la intensidad del HT, mientras que la correlación entre estos factores se debilita gravemente durante el proceso de pirólisis. El proceso HT mejora significativamente el poder calorífico (HHV) del gránulo de

hidrocarbón resultante, siendo la lignina responsable de este aumento. Sin embargo, el HHV del gránulo de biocarbón resultante muestra una tendencia a disminuir lentamente con el aumento de la temperatura HT. Los gránulos de hidrocarbón y biocarbón con la mayor densidad de energía se obtuvieron a partir del CS pretratado a 230 °C, y el proceso HT incrementa la densidad de energía de los gránulos de hidrocarbón y biocarbón resultantes en diferentes grados. La densidad aparente tiene un efecto decisivo en la calidad del gránulo de biocombustible. Por lo tanto, la calidad del gránulo de biocarbón puede mejorarse considerablemente mediante el proceso HT.

Liu et al., (2023) en su estudio titulado **“Comparación basada en la sostenibilidad ambiental para la producción, propiedades y aplicaciones de biocarbón e hidrocarbón”** tuvo como objetivo convertir materiales termoquímicamente en sustancias ricas en carbono, específicamente biocarbón e hidrocarbón, a través de la pirólisis y la carbonización hidrotermal (HTC), respectivamente. Los productos resultantes de la pirólisis y HTC difieren en varias propiedades fisicoquímicas, tales como la microporosidad, los grupos funcionales y el área de superficie, atribuibles a las variadas condiciones bajo las cuales se llevan a cabo los procesos, siendo la temperatura de operación un factor especialmente crítico. Este segmento analiza y compara las condiciones de producción, características fisicoquímicas, usos actuales y futuros, así como las perspectivas a largo plazo para el biocarbón y el hidrocarbón, enfocándose en su viabilidad desde un enfoque de sostenibilidad ambiental.

Zhang et al., (2023), en su estudio titulado **“Biocarbón e hidrocarbón derivados de lodos de agua dulce: Caracterización y posibles aplicaciones”** tuvo como objetivo generar diariamente significativas cantidades de lodos frescos (LF), que históricamente se han subutilizado, siendo comúnmente prensados en tortas de lodo y descartados en vertederos. En la investigación presentada, se creó biocarbón mediante pirólisis a temperaturas de 300, 500 y 700°C durante una hora, e hidrocarbón a través de carbonización hidrotermal (HTC) a 140, 160, 180 y 200°C durante cuatro horas. Los análisis preliminares revelan que el biocarbón posee una estabilidad de carbono superior y podría ser más adecuado para la captura de

carbono, mientras que el hidrocarbón exhibe estructuras de carbono menos estables. Se obtuvo como resultados en términos de hidrofobicidad superficial, el orden es biocarbón > hidrocarbón > LF. Evaluaciones de fitotoxicidad demostraron impactos benéficos en la germinación de semillas de trigo. Este estudio introduce un método innovador para el reaprovechamiento de los LF y sugiere posibles usos de sus derivados carbonosos, promoviendo así la adopción de una economía circular y el logro de una gestión de residuos sin desechos.

Ercan et al., (2023), en su estudio titulado “**Estudios comparativos de hidrocarburos y biocarburos producidos a partir de biomasa lignocelulósica mediante carbonización hidrotermal, torrefacción y pirólisis**” tuvo como objetivo *realizar* carbonización hidrotermal, torrefacción y pirólisis de astillas de madera de carpe. Se realizaron diferentes experimentos a diferentes temperaturas que oscilaron entre 225 y 575°C, y se analizaron los biocarburos e hidrocarburos resultantes. Los biocarbón obtenidos a partir de torrefacción tuvieron altos rendimientos, pero no tuvieron cambios estructurales significativos en comparación con la materia prima. Los biocarbón producidos a partir de pirólisis tenían un alto contenido de carbono fijo que aumentaba con la temperatura. Los hidrocarburos obtenidos de la carbonización hidrotermal tenían un mayor grado de carbonización que los biocarbón producidos por torrefacción en condiciones idénticas. El orden del grado de carbonización, de mayor a menor, fue: biocarbón obtenido del proceso de pirólisis, hidrocarbón producido del proceso de carbonización hidrotermal y biocarbón obtenido del proceso de torrefacción. El poder calorífico más alto del biocarbón fue de 32,51 MJ kg<sup>-1</sup>, producido a partir de la pirólisis a 575°C

Cavali, et al., (2022), en su estudio titulado “**Biocarbón e hidrocarbón en el contexto de la digestión anaeróbica para un enfoque circular: Una visión general**” tuvo como objetivo obtener una diversidad de residuos orgánicos incluyendo el digestato, presentan aplicaciones de gran valor. El digestato, un producto secundario de la digestión anaeróbica (DA) empleada para generar bioenergía (biogás) a partir de desechos orgánicos, puede transformarse en biocarbón o hidrocarbón mediante técnicas termoquímicas como la pirólisis,

la gasificación y la carbonización hidrotermal (HTC). Se ha demostrado que la incorporación de biocarbón o hidrocarbón en el proceso de DA optimiza las reacciones bioquímicas y el desarrollo microbiano, mejora la capacidad de amortiguamiento y promueve la transferencia directa de electrones entre especies (DIET), conduciendo a una producción incrementada de metano ( $\text{CH}_4$ ). Además, estos materiales pueden capturar sustancias indeseables en el biogás, tales como dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ), amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) y siloxanos. Sin embargo, aún falta una comprensión completa sobre cómo el biocarbón y el hidrocarbón, generados a partir del digestato y reintegrados al proceso de DA como aditivos o agentes de purificación de biogás, pueden contribuir a un sistema de economía circular cerrando el ciclo de materiales. Por ende, este resumen se enfoca en examinar cómo la producción y utilización de biocarbón e hidrocarbón derivados del digestato afectan la DA, su capacidad para absorber contaminantes del biogás y la viabilidad de su integración basada en análisis de ciclo de vida (ACV), que hasta ahora arrojan resultados prometedores al combinar DA con los mencionados procesos termoquímicos. Aunque se necesitan más estudios de ACV. También se discuten evaluaciones tecnoeconómicas (TEA) de estos procesos, y a pesar de un mercado creciente para el biocarbón y el hidrocarbón, se requieren análisis TEA adicionales para confirmar la viabilidad económica de la integración sugerida, considerando las particularidades de cada diseño de proceso. En conclusión, la creación de biocarbón e hidrocarbón a partir de digestato puede ser clave para enriquecer el proceso de DA, fomentando un enfoque cíclico alineado con los principios de la economía circular.

Rojas, (2021), en su estudio **“Caracterización y capacidad de adsorción de antibióticos sulfonamidas de biocarbón e hidrocarbón a base de posos de café”**, tuvo por objetivo analizar el biocarbón (BC) y el hidrocarbón (HC), producidos a través de la pirólisis y la carbonización hidrotermal de residuos de café, respectivamente. Se examinaron sus propiedades y su eficacia en la adsorción de antibióticos de sulfonamida, evaluando su capacidad de adsorción, las isotermas de adsorción y la cinética de adsorción. Según los resultados indicaron que el BC tenía un mayor grado de carbonización y

presentaba menos grupos funcionales oxigenados que el HC, según se determinó mediante técnicas como el análisis elemental, la difracción de rayos X, la espectrometría de fotoelectrones de rayos X y la espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier. Estas diferencias influyeron en la eficacia con la que cada material adsorbía los antibióticos de sulfonamida y en el mecanismo subyacente de la adsorción. En condiciones específicas, el BC mostró capacidades de adsorción máximas de 121,5 µg/g para la sulfadiazina (SDZ) y de 130,1 µg/g para el sulfametoxazol (SMX), frente a las capacidades del HC, que fueron de 82,2 µg/g y 85,7 µg/g, respectivamente. Se sugiere que la adsorción de sulfonamidas en el BC podría estar principalmente mediada por interacciones  $\pi$ - $\pi$  entre donantes y aceptores de electrones, mientras que en el HC podría deberse a la formación de enlaces de hidrógeno. Un análisis más exhaustivo reveló que tanto interacciones físicas como químicas juegan roles en la adsorción de sulfonamidas en ambos materiales. En conclusión, la pirólisis es un método más efectivo para generar materiales adsorbentes de este tipo.

### **2.1.2. Nacional**

Chávez et al., (2023) en su tesis titulada **“Efecto del carbón hidrotermal derivado del lodo de una PTAR aerobia en las propiedades fisicoquímicas del suelo en parques del distrito de Carabaylo - Sector 2, Lima - 2023”**. Tuvo como objetivo evaluar el efecto del carbón hidrotermal derivado del lodo de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) aerobia en las propiedades fisicoquímicas del suelo de los parques del distrito de Carabaylo – Sector 2. La metodología incluyó la elaboración del carbón hidrotermal a una temperatura de 220°C y una presión de 3 bar mediante un proceso de pirólisis. Posteriormente, se aplicaron distintas dosis de carbón hidrotermal (2.5%, 5.0% y 7.5%) a las zonas A, B, C y D, utilizando muestras de suelo de 250 gramos para la evaluación. Los resultados demostraron que la aplicación de carbón hidrotermal derivado del lodo de una PTAR aerobia al 7.5% mejoró significativamente las propiedades fisicoquímicas del suelo, incrementando el nitrógeno total en los parques. El diseño experimental mostró que los valores de p-value fueron menores a 0.01, indicando una



respuesta significativa de las propiedades fisicoquímicas del suelo a las distintas dosis aplicadas.

Coro & Salazar, (2023) en su tesis titulada “**Pirólisis de los lodos residuales de acuicultura y calidad de biocarbón como enmienda de suelo, Paríamarca, Canta-Lima**”. El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo determinar la influencia de la pirólisis de lodos residuales de acuicultura en la calidad del biocarbón como enmienda del suelo. La metodología de la investigación fue de enfoque cuantitativo, tipo básico y nivel explicativo. Se obtuvieron muestras de lodos residuales de acuicultura de una piscigranja de truchas (*Salmo trutta*) ubicada en la Comunidad Paríamarca, Canta - Lima. Estas muestras fueron previamente secadas y tamizadas, y luego se sometieron a un proceso de pirólisis en un reactor pirolítico de 5 litros de capacidad, a temperaturas de 500 y 700 °C, con un tiempo de retención de una hora. La calidad del biocarbón como enmienda del suelo se evaluó mediante sus propiedades fisicoquímicas (pH, conductividad eléctrica, carbono orgánico, relación H, nitrógeno total, potasio total, fósforo total, humedad, ceniza y materia volátil) y su fitotoxicidad (índice de germinación). Los resultados de la estadística descriptiva mostraron variaciones en los parámetros fisicoquímicos y la fitotoxicidad a diferentes temperaturas de pirólisis. Se observó que el H, el nitrógeno total, el fósforo total, la materia volátil y la fitotoxicidad disminuyen con el aumento de la temperatura de pirólisis, mientras que el pH, la conductividad eléctrica, el carbono orgánico, el potasio total, la humedad y las cenizas aumentan. En conclusión, la temperatura es un factor influyente en el proceso de pirólisis, afectando la calidad del biocarbón como enmienda del suelo, y tiene un impacto significativo en las propiedades fisicoquímicas y la fitotoxicidad del biocarbón.

Congona y Limache, (2022), en su tesis titulada “**Estudio comparativo de la adsorción del biocarbón y carbón modificado por activación en los derrames de petróleo marítimos: revisión sistemática**”, el objetivo de estudio fue determinar los aspectos más sobresalientes a saber sobre el estudio comparativo entre la adsorción del biocarbón y carbón modificado por activación en los derrames de petróleo marítimos. Obteniendo, que el método de conversión termoquímica más usada se clasifica por las cinco técnicas de

conversión, siendo la técnica de gasificación con un 32% de estudios aplicados, la pirolisis lenta, seguida de la torrefacción, y las menos empleadas, la pirolisis rápida y la pirolisis por microondas. La materia prima más usada y su importancia en la capacidad de adsorción del biocarbón y carbón modificado son los residuos de cosechas, forestales y domésticos, donde las más usadas son las cáscaras de residuos agrícolas, hojas secas y tallos. Además, su importancia recae en la temperatura óptima de pirolisis. Así también, la T° de pirolisis desempeña un papel esencial, donde las temperaturas altas mayores a los 350 °C generan una mayor eficiencia del biocarbón, mientras que las temperaturas de pirolisis extremas son deficientes para la eficiencia del productor final. Se concluye que el mecanismo de adsorción usado es; el llenado de poros, la atracción debido a la naturaleza hidrofóbica, la atracción electrostática, la atracción del donante-aceptor de electrones  $\pi$ - $\pi$  y las interacciones electrofílicas.

Apeña y Castelo, (2022), en su tesis titulada “**Biocarbón de lodos para la inmovilización del plomo en suelos del AA. HH Virgen de Guadalupe, mi Perú, 2022**”, el objetivo del siguiente estudio fue evaluar en qué medida el biocarbón de lodos moviliza el plomo en suelos del AA. HH Virgen María de Guadalupe, Mi Perú, 2022. La metodología aplicada consistió en generar biocarbón de lodos de PTAR y de lodos de piscicultura por un proceso de pirólisis a una temperatura de 500 °C, luego se dosificó el biocarbón en el suelo contaminado con plomo a una dosis de 10% de biocarbón / suelo, los factores que se estudiaron fueron: (F1) Tipo de biocarbón, (F2) tiempo de aplicación del biocarbón aplicando un diseño factorial para los factores estudiados. Los resultados mostraron que las características del biocarbón del lodo PTAR y piscicultura tiene alto contenido de fósforo obteniéndose una máxima inmovilización de plomo de 50.83 % con el lodo de PTAR en 20 días a una dosis de 10% Biocarbón/Suelo. Mediante el diseño factorial aplicado se obtuvo un R<sup>2</sup> de 0,85, R<sup>2</sup> ajustado de 0,84, F-value de 80,31 y valores p-value inferiores a 0,001 (99%) indicando que el factor (F2) tiempo de aplicación es significativo para el tratamiento. Se concluyó que el biocarbón de PTAR tiene un alto potencial para la inmovilización de plomo en suelo contaminado AA. HH. Virgen de Guadalupe, Mi Perú.

Díaz y Pérez, (2021), en su estudio titulado “**Biochar de lodos de una planta de tratamiento de aguas residuales para remediar suelos contaminados con hidrocarburos en Huachipa, 2021**”. El objetivo fue determinar el nivel de reducción de hidrocarburos utilizando biochar de lodos residuales en el suelo de un área de estacionamiento de Huachipa. El método consistió en el uso de biochar sobre muestras de suelo. El biochar se obtuvo teniendo como materia prima lodos de una planta de tratamiento de aguas residuales y sometidas a pirólisis a una temperatura de 305 °C. Se ensayó teniendo macetas conteniendo 2 kg de suelo contaminado con hidrocarburos a los que se adicionó biochar en porcentajes de 5%, 10% y 20% respectivamente por triplicado. El análisis inicial de la muestra dio como resultado un exceso de hidrocarburos en nivel superior de los estándares de calidad ambiental (ECA) para suelo tanto en fracción ligera, media y pesada. Luego de 45 días de haberse aplicado el biochar a las muestras de suelo, se determinó que con un tratamiento al 20% de biochar redujo los hidrocarburos de fracción ligera, mediana y pesada en 99.99%, 54.59% y 54.92% respectivamente; Se concluye que, además mejoraron las propiedades fisicoquímicas entre ellas la materia orgánica, pH, capacidad de intercambio catiónico, P, N y textura.

Gamboa, (2021), en su estudio titulado “**Producción y aplicación de biocarbón a partir de biomasa residual para mejorar la calidad de suelos agrícolas. Revisión sistemática, 2020**”. La presente investigación se realizó con el objetivo de obtener información relacionada a mejorar la calidad de suelos agrícolas mediante la producción y aplicación del biocarbón a partir de masa residual, para lo cual se describieron los tipos de materiales precursores y se analizó la pirólisis como tecnología para la producción del biocarbón. Se evaluó también la aplicación de este para mejorar la calidad de los tipos de suelos y cultivos, así como el uso del biocarbón para el tratamiento de suelos contaminados. Los métodos, las técnicas, la recolección de datos y el análisis han sido realizados alternativamente a lo largo del desarrollo teórico de la investigación. En la investigación se analizaron y discutieron, temas relacionados a la elaboración y aplicación del biocarbón en los diferentes tipos de suelos, dependiendo de la masa residual del biocarbón. De la investigación realizada da como resultado que la aplicación del biocarbón en los diferentes

tipos de suelo mejora significativamente las condiciones biológicas y nutricionales de los mismos, con lo cual disminuye la degradación, aumenta la fertilidad y producción. Por lo cual se concluye que, se debe realizar más investigaciones respecto al biocarbón, especialmente en las zonas donde no se practican las tecnologías que mejoran la calidad de los suelos agrícolas.

Zegarra Vera, (2022), en su estudio titulado “**Revisión sistemática: Obtención de biocarbón a partir de residuos agrícolas para la adsorción de metales pesados en aguas residuales industriales**”. En el trabajo de investigación tuvo como objetivo analizar la adsorción de los metales pesados, presentes en aguas residuales industriales, utilizando biocarbón, elaborado a partir de residuos agrícolas. La metodología fue de tipo revisión bibliográfica con un enfoque cualitativo. Se basó en la técnica de recolección de análisis de documentos de los últimos 5 años. Los resultados demostraron que los desechos agrícolas más usados fueron el pasto elefante, cáscara y paja de arroz, lodos de depuradora, cáscara de maní, hueso de bovino y escamas de pescado, biomasa de madera, ramas de *Camellia sinensis*, palo de yute y bagazo de caña de azúcar. Logrando una remoción de metales pesados en cuanto al cobre 47.53%, manganeso, fierro, magnesio y zinc en 54%, plomo 87%, esto mediante la aplicación del biocarbón de paja de arroz y bagazo de caña de azúcar. Concluyendo que los residuos agrícolas en elaboración de biocarbón son muy eficientes en tratar a las aguas con presencia de metales pesados recuperando a su calidad, ya que tienen propiedades fisicoquímicas, destacan en área superficial, poseen macro y microporos, cabe señalar que estos poros están asociados a la adsorción de compuestos líquidos, sólidos y gaseosos, además de la presencia de grupos funcionales.

## **2.2. Bases Teóricas**

### **2.2.1. Teoría del biocarbón**

El biocarbón, también conocido como Biochar en inglés, se forma a través de la descomposición térmica de materia orgánica en un entorno con restricciones de oxígeno. A diferencia del carbón vegetal convencional, que se emplea como combustible o fuente de energía, el biocarbón se destina a su uso en suelos. Se considera una enmienda del suelo debido a sus

propiedades físicas, químicas y biológicas, que tienen la capacidad de aumentar la productividad de los cultivos y mejorar la fertilidad del suelo (Segura, 2018).

Se produce a temperaturas relativamente bajas, que no superan los 700 °C y se utiliza principalmente en aplicaciones agrícolas. Esto lo diferencia de los tipos de carbón utilizados como combustible y del carbón activado (Escalante et al., 2016). Según la definición de la International Biochar Initiative (IBI), el biocarbón es un material sólido obtenido de la carbonización y conversión termoquímica de biomasa en ambientes con limitación de oxígeno (Aquiye, 2022).

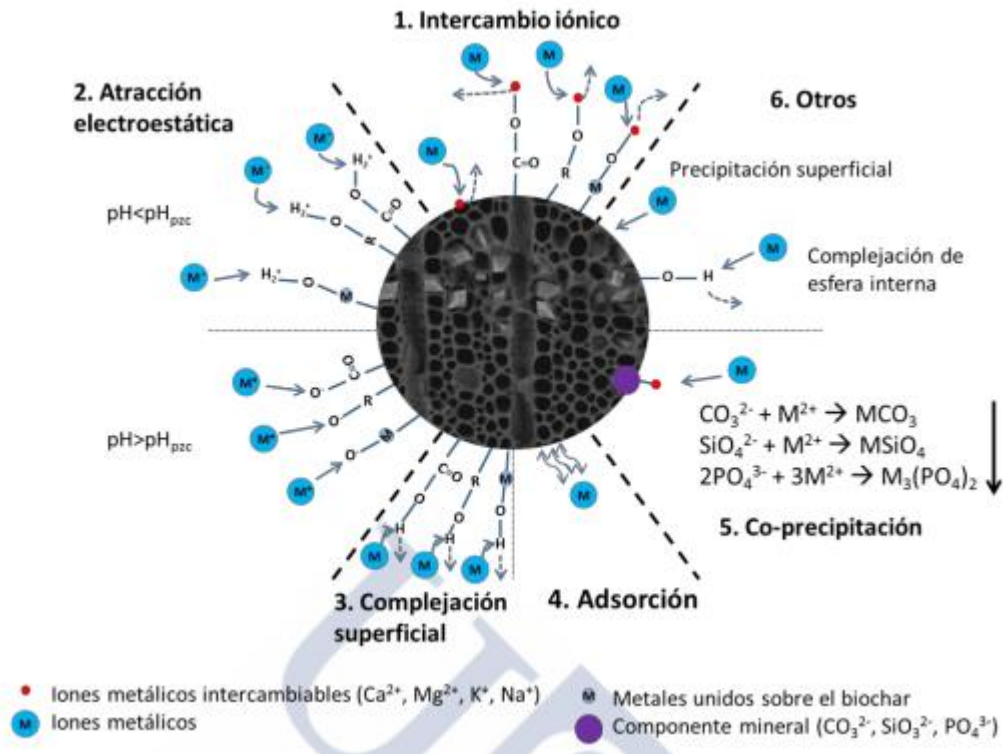
#### **a. Características del biocarbón**

En lo que respecta a sus características físicas, el biocarbón es un material sólido de color negro compuesto por carbono, y su estructura exhibe una superficie intrincada y desordenada. Estas propiedades estructurales pueden variar según el tipo de biomasa utilizada y el proceso de pirólisis al que se somete. El biocarbón se compone de partículas de diversos tamaños, los cuales están influenciados por la fuente y el tamaño de la materia prima. Presenta una alta porosidad que incluye poros microscópicos, meso y macroporos, con dimensiones inferiores a 2 nanómetros, de 2 a 50 nanómetros y superiores a 50 nanómetros, respectivamente. Esta característica ha llevado a compararlo con un "arrecife subterráneo" que puede servir como hábitat para microorganismos (Escalante et al., 2016)

La composición química del biocarbón exhibe una notable diversidad, ya que incluye elementos tanto estables como susceptibles a cambios, como el carbono, la materia volátil, la materia mineral (ceniza) y la humedad. Además, el biocarbón presenta una estructura aromática con un elevado número de grupos químicos, lo que contribuye a su estabilidad química. Otras características químicas notables son su amplia área superficial y su capacidad para intercambiar cationes, permitiéndole retener iones positivos (Ruiz, 2019).

**Figura 1**

**Múltiples mecanismos mediante los cuales los biocarbón pueden retener elementos**



Nota. Extraído de Tan et al., (2015)

## **b. Procesos de producción del biocarbón**

### **i. Pirolisis**

El pirólisis se fundamenta en el análisis térmico de materia orgánica o compuestos carbonados, llevándose a cabo en condiciones de ausencia total de agentes oxidantes o con concentraciones bajas de oxígeno para prevenir la combustión. Durante este proceso, las moléculas de gran tamaño se descomponen en moléculas más pequeñas, dando lugar a gases como CH<sub>4</sub>, CO y CO<sub>2</sub>, líquidos como aceite, ácido acético, acetona y metanol, y residuos de carbono en forma de coque residual (Basu, 2018). En general, se diferencian tres tipos de pirólisis rápida, intermedia y lenta, como se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1***Tipos de pirólisis*

Característica	Pirólisis rápida	Pirólisis intermedia	Pirólisis lenta
Producción principal	liquido combustible	Combustible sólido/líquido	Combustible sólido
Tipo de proceso	continuo	Continuo o lote	lote
preparación	Partículas finas	Partículas grandes	Partículas grandes
Temperaturas	450 a 600°C	300 a 500°C	225 a 300°C
tiempo residencia	< 2 segundos	5 a 30 minutos	Horas-días
Rendimientos	75 % fracción líquida	55 % fracción líquida	30 a 35 % fracción sólida
Observaciones	El exceso de humedad produce combustibles de baja calidad; y para biocarbón, humedad de 15 al 20 %. Presión de 1 bar.		

*Nota.* Extraído de Dhyani & Bhaskar, (2018).

A continuación, se explicarán los siguientes tipos de pirolisis:

**Pirolisis lenta**

La pirólisis convencional o lenta se caracteriza por sus fases de calentamiento pausadas de la biomasa, temperaturas moderadamente bajas y amplios tiempos de residencia tanto para los sólidos como para el gas. En dependencia del sistema, los incrementos de temperatura suelen oscilar entre 0,1 y 2 °C por segundo, con temperaturas sostenidas alrededor de los 500 °C. El periodo de retención del gas en el proceso puede prolongarse más allá de los 5 segundos, mientras que, para la biomasa, este lapso puede variar desde minutos hasta días (Sadaka, 2007).

**Pirolisis rápida**

La velocidad de calentamiento supera los 200 °C por segundo, con temperaturas predominantes que suelen superar los 550 °C. Debido al breve tiempo de residencia del vapor, los productos resultantes son de alta calidad, principalmente líquidos como los bioaceites y gases ricos en etileno, que

podrían ser empleados en la producción de alcoholes o gasolina. En este proceso, la generación de carbón y alquitrán se reduce significativamente (Sadaka, 2007). El proceso provoca la descomposición de los polímeros de los componentes de la biomasa, dando lugar a vapores condensables que se transforman en bioaceite. Además, podría representar una opción segura para eliminar materias primas contaminadas con toxinas (Mullen et al., 2010).

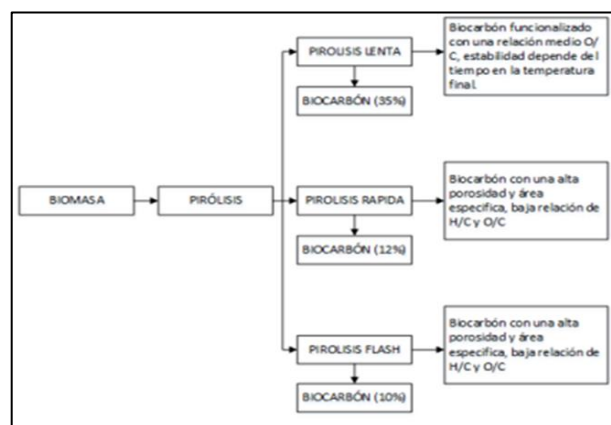
### Pirólisis ultrarápida

La pirólisis ultrarrápida se caracteriza por utilizar temperaturas moderadas (400-600 °C) y tasas de calentamiento rápidos ( $>2 \text{ }^\circ\text{C s}^{-1}$ ). Los periodos de permanencia del vapor suelen ser inferiores a 2 segundos. Aunque este método conlleva una reducción significativa en la producción de alquitrán y gas, se logra un rendimiento óptimo en productos aceitosos, alcanzando entre el 75% y el 80% (Demirbas, 2009).

Para llevar a cabo este proceso, se requiere una configuración especial del reactor, en la que los tiempos de permanencia de la biomasa son extremadamente cortos, de apenas unos pocos segundos. Dos de los diseños adecuados son el reactor de flujo arrastrado y el reactor de lecho fluidizado. La pirólisis rápida de cualquier tipo de biomasa exige un calentamiento rápido, por lo tanto, el tamaño de las partículas debe ser bastante pequeño, en el rango de aproximadamente 105-250  $\mu\text{m}$  (Tenorio y Camino, 2018).

### Figura 2

*Rendimiento de obtención de biocarbón en cada pirólisis*



*Nota.* Extraído de (Tenorio y Camino, 2018).



### 2.2.2. Teoría de la carbonización hidrotermal

A través del proceso de carbonización hidrotérmica, la biomasa y otros residuos se someten a altas temperaturas y presiones en presencia de agua. Como resultado, se obtienen dos productos principales: uno con propiedades similares al carbón (hidrocarburos) y otros solubles en agua. En esencia, el proceso HTC facilita la conversión de diversas corrientes de biomasa húmeda, como el lodo de aguas residuales, en combustibles y sustancias con alto valor de mercado, incluida la recuperación de fósforo, que alcanza casi el 100% (Medina Reyes, 2019).

La carbonización hidrotermal (HTC) implica la descomposición de materia orgánica bajo la influencia de la temperatura en presencia de agua. En este procedimiento, el agua se mantiene a una temperatura superior a su punto de ebullición, y la presión del sistema se genera de forma autónoma. La HTC, siendo un proceso exotérmico, es capaz de disminuir la cantidad de oxígeno e hidrógeno en el carbón resultante en comparación con la materia orgánica original (Bergius, 1932).

La reacción que tiene lugar en el procedimiento de HTC es la siguiente:

#### Figura 3

*La reacción que tiene lugar en el procedimiento de HTC*

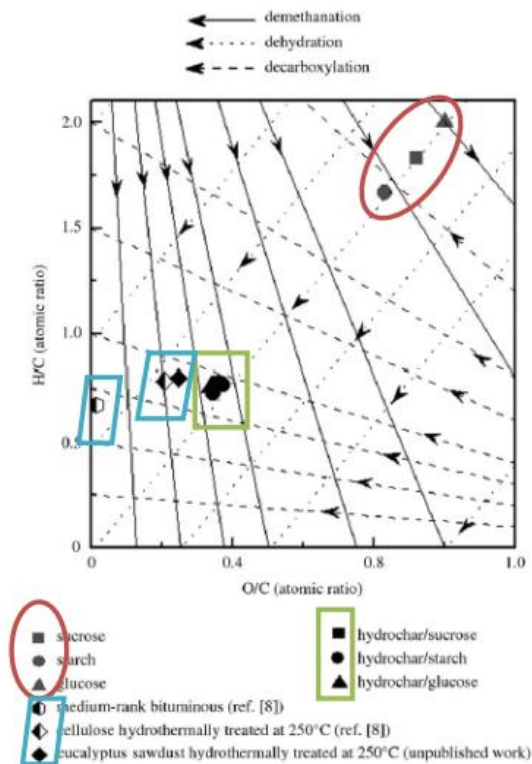


*Nota.* Extraído de Ponce, (2013)

Se ha verificado que los productos sólidos resultantes de la HTC, originados tanto de la glucosa como de la celulosa, presentan una composición idéntica. Este hallazgo sugiere una similitud en la hidrólisis de los productos para ambas sustancias. Van Krevelen ha propuesto un diagrama que compara las relaciones H/C con O/C para analizar y caracterizar combustibles sólidos (Sevilla & Fuertes, 2009). En la Figura 4, se pueden visualizar las transformaciones químicas que suceden durante el proceso de HTC.

**Figura 4**

*Diagrama de Van Krevelen*



*Nota.* Extraído de (Sevilla & Fuertes, 2009).

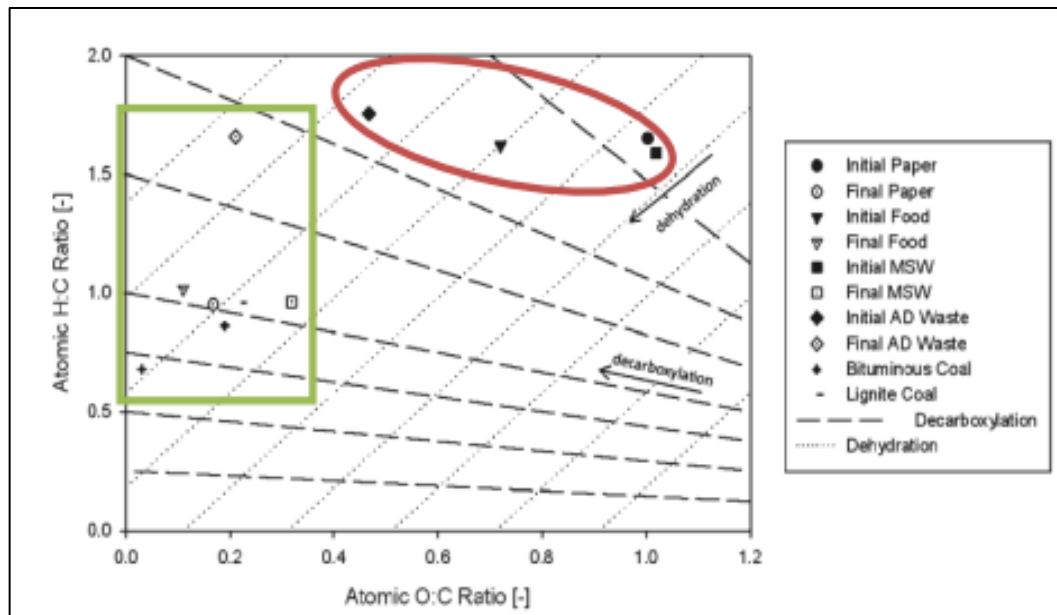
En el diagrama de van Krevelen, se representan las posibles reacciones que pueden tener lugar en tratamientos de biomasa mediante líneas rectas. La deshidratación se indica con una línea de puntos, mientras que la descarboxilación se visualiza mediante una línea discontinua. Por otro lado, el proceso de desmetanización, que implica la eliminación del metano del carbón, se representa mediante una línea continua (Sevilla & Fuertes, 2009).

En el Figura 5, se evidencia que, durante el proceso de HTC, principalmente se generan deshidrataciones, como indica la línea de puntos. Se observa que las muestras de biomasa están aún distantes de las muestras de carbón natural (bituminoso), ya que estas últimas presentan una menor relación O/C debido al bajo contenido de oxígeno en el carbón. No obstante, las muestras de carbón obtenidas mediante HTC exhiben relaciones más próximas al carbón natural.

A continuación, en la Figura 5, se presenta el diagrama de van Krevelen aplicado a la producción de carbono mediante HTC a partir de Residuos Sólidos Urbanos (RSU).

### Figura 5

Diagrama de van Krevelen aplicado a carbones de HTC procedentes de RSU.

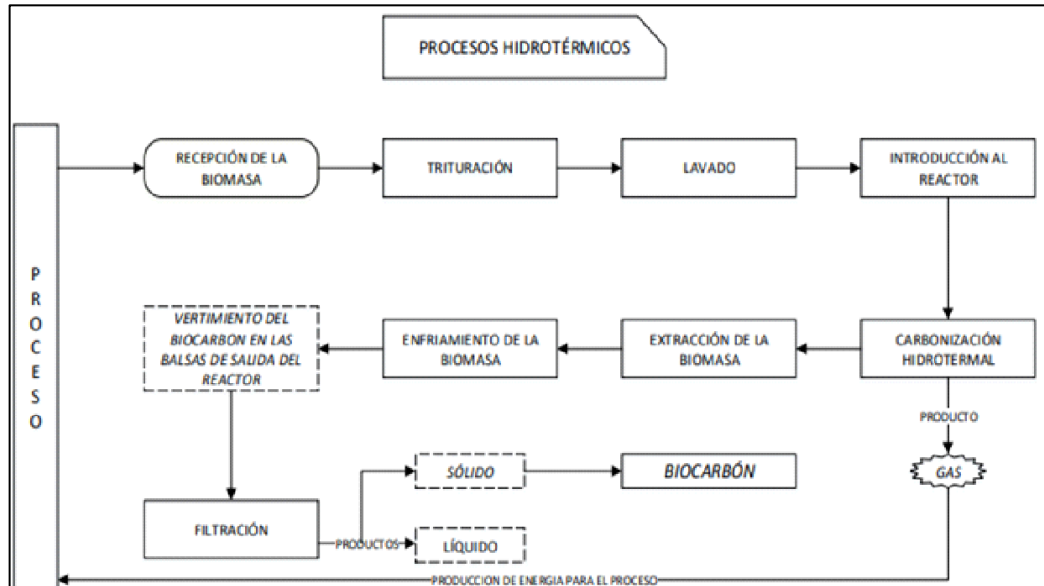


Nota. Extraído de Berge et al., (2011).

Como se puede notar, el diagrama se asemeja notablemente al presentado previamente para la sacarosa, el almidón y la glucosa. La HTC de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) está fuertemente influenciada por la deshidratación y, además, por la descarboxilación. La variación en el comportamiento, en comparación con otros residuos, se atribuye a las condiciones alcalinas de la reacción. Existen diversas técnicas para llevar a cabo el proceso de HTC, que dependen de factores como la temperatura empleada, el tiempo de residencia y la eficiencia en la transferencia de calor a la alimentación. Asimismo, la distribución de los productos en las fases gaseosa, líquida y sólida también afecta el proceso (Berge et al., 2011).

**Figura 6**

*Procesos hidrotérmicos*



Nota. Modificado de *Tenorio y Camino, (2018)*.

### **a. Gasificación**

La gasificación se realiza a elevadas temperaturas en presencia de un agente oxidante, que también se conoce como gasificante. El calor se suministra directa o indirectamente al gasificado, elevando la temperatura de gasificación a un rango de 600-1000°C. Los agentes oxidantes suelen ser aire, vapor, nitrógeno, dióxido de carbono, oxígeno o una combinación de estos.

Durante el proceso de gasificación, la biomasa se convierte principalmente en una mezcla de productos gaseosos, que incluyen gases de síntesis como CO, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y cantidades reducidas de hidrocarburos. En promedio, el rendimiento típico de biocarbón obtenido a través de la gasificación equivale a aproximadamente el 10% en peso de la biomasa (Tenorio y Camino, 2018).

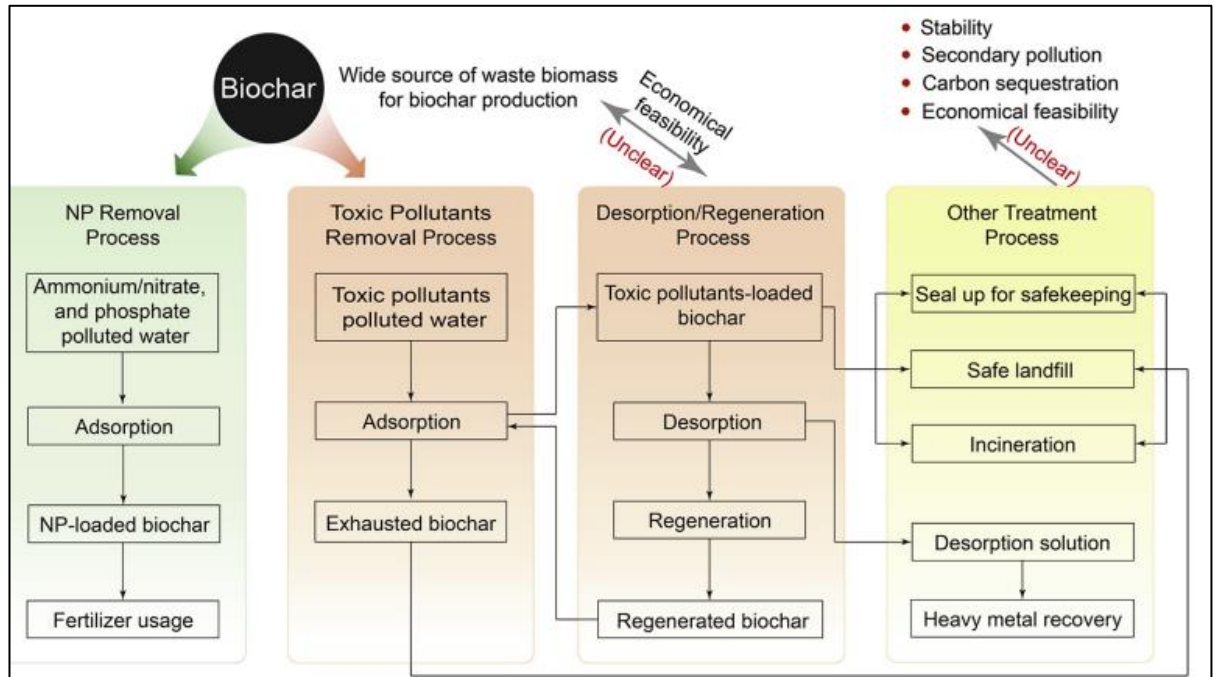
### **b. Aplicación**

En sus inicios, el biocarbón se consideraba una tecnología eficaz para el secuestro de carbono. A lo largo de los últimos siete años, hemos podido observar que diversas investigaciones han utilizado el biocarbón como un producto versátil, ya que sus aplicaciones abarcan principalmente la

mitigación del cambio climático, la gestión de residuos sólidos, la generación de energía y lo destacan como un excelente mejorador del suelo (Tenorio y Camino, 2018).

### Figura 7

Objetivos de la aplicación del biocarbón



Nota. Extraído de Tan et al., (2015)

### Modificación del suelo

En los últimos años, ha habido un aumento significativo en la aplicación del biocarbón en los suelos, así como en la investigación de sus ventajas en su uso. El biocarbón se emplea con el propósito de reducir la contaminación de metales en los suelos y mejorar su fertilidad. Además, se ha observado una disminución en el uso de recursos naturales, como el agua para riego, y un ahorro en la inversión de materias primas, ya que es posible reducir la necesidad de fertilizantes, agua, cal y minimizar las pérdidas de nutrientes, entre otras ventajas destacadas (Segura, 2018).

### Mitigación del cambio climático

La referencia al Objetivo de Desarrollo Sostenible relacionado con el cambio climático se debe a los beneficios que el biocarbón aporta a los suelos, ya que actúa como un importante sumidero de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Los suelos

desempeñan un papel significativo en la emisión de gases de efecto invernadero, ya que la adición de materia orgánica al suelo tiende a descomponerse rápidamente y generar emisiones hacia la atmósfera. Sin embargo, al incorporar biocarbón, esto se evita debido a su estructura resistente que dificulta la descomposición microbiana (Segura, 2018).

### **2.2.3. Teoría de la Optimización**

La optimización es el proceso de elegir una opción que, en algún sentido, es mejor que todas las otras opciones posibles. Es una idea que está presente en toda la investigación operativa. Sin embargo, la optimización o la programación matemática son términos que se utilizan para describir ciertas técnicas específicas de la investigación operativa (Ramos et al., 2010).

#### **a. Problemas de Optimización:**

##### ***i. Función objetivo***

Es la medida cuantitativa del funcionamiento del sistema que se pretende optimizar. Las funciones objetivo pueden incluir la reducción de los costos variables de operación de un sistema eléctrico, la reducción de los beneficios netos de venta de ciertos productos, la reducción del cuadrado de desviaciones con respecto a ciertos valores, la reducción del material utilizado en la fabricación de productos, entre otros (Ramos et al., 2010).

##### ***ii. Variables***

Representan las posibles elecciones que se pueden tomar para cambiar el valor de la función objetivo. Desde una perspectiva funcional, se pueden dividir en variables dependientes o auxiliares o de estado y variables independientes o principales o de control. Sin embargo, matemáticamente todas son iguales. En el caso de un sistema eléctrico, los valores de producción de los grupos de generación o los flujos por las líneas serán los que se utilizarán. La cantidad de cada producto producido y vendido en el caso de la venta. Las dimensiones físicas de un producto en el proceso de fabricación (Ramos et al., 2010).

##### ***iii. Restricciones***

Representa el conjunto de relaciones que ciertas variables deben cumplir, expresadas en ecuaciones e inecuaciones. Las potencias máximas y mínimas

de operación de un grupo de generación, la capacidad de producción de la fábrica para varios productos, las dimensiones del material bruto del producto, etc.

Encontrar el valor que deben tomar las variables para hacer óptima la función objetivo satisfaciendo el conjunto de restricciones es el primer paso para resolver un problema de optimización (Ramos et al., 2010).

### **b. Optimización de Procesos**

La optimización de procesos nació como una iniciativa para mejorar, organizar y proponer nuevas formas de proceder para lograr una mayor eficacia administrativa, contribuyendo al logro de los objetivos y metas de la organización en esta materia. Por ende, las direcciones de cualquier empresa deben utilizar la optimización de procesos para actualizarse, cambiar y producir los mejores resultados, con calidad y efectividad (Aldana Ramírez, 2006).

### **c. Modelo económico de optimización**

Primero, es esencial establecer que el método científico, los fundamentos y el campo de estudio de la teoría económica neoclásica se denominan "económica" (Becker, 1976).

El enfoque científico de la economía sostiene que la economía es una ciencia positiva (Neutralidad Valorativa), ya que los gustos y preferencias de las personas están predeterminados y las decisiones que toman los agentes económicos se derivan directamente de estas preferencias. En este enfoque, el economista no se preocupa por la moral de las decisiones ni por las multas (Samuelson, 1938).

### **d. Modelos de Optimización**

Los modelos de optimización son un conjunto de variables que tienen la tarea de maximizar o reducir una función objetivo en función de una serie de restricciones. Los modelos de programación lineal son más comunes que todos los otros tipos de optimización, y abarcan cualquier tipo de actividad humana, como finanzas, marketing, economía de la energía, organización de la producción, planificación de operaciones, selección de procesos,

asignación de tareas, ingeniería química, forestal, agrónoma, comercio internacional, desarrollo económico, entre otros (Schrage, 2006).

Según Linares et al. (2001) los beneficios del proceso de modelado, además del modelo en sí mismo, tanto para el modelador como para el experto, incluyen:

- Ayuda a establecer un diálogo con intercambio de información entre el modelador y el experto.
- Organiza los datos, la información disponible sobre el sistema.
- Organiza, estructura y mejora la comprensión del sistema.
- Internaliza la estructura organizativa de la empresa.
- Permite compartir supuestos y resultados entre el modelador y el experto.
- Proporciona un entorno ágil para el análisis y la sensibilidad.
- Indica la dirección de mejora en las decisiones.

#### **2.2.4. Los parámetros básicos de materiales carbonos**

##### **a. Calidad**

La primera descripción se enfoca en la importancia de comprender lo esencial, donde la calidad se interpreta como equivalente a distinción o supremacía. Este concepto se hace evidente en el contexto de un sistema de consumo en el que las personas no pueden definirlo de manera sencilla, lo que complica su medición y evaluación.

En contraste, la segunda definición se basa en los fundamentos del producto, de modo que la calidad se establece a través de la mejora de los atributos deseables del producto o del servicio. + (Penadillo et al., 2023).

En la actualidad, la preocupación por la calidad de productos y servicios se ha convertido en un aspecto de gran relevancia para la mayoría de las organizaciones. Para alcanzar los niveles de calidad deseados en un producto o servicio, no es suficiente con llevar a cabo inspecciones o pruebas finales. En cambio, es esencial adoptar un enfoque adecuado desde la etapa de diseño y a lo largo de todo el proceso de producción o prestación, de manera que los resultados estén alineados con las expectativas. Sin embargo, es



importante reconocer que todos los procesos pueden ser influenciados por factores incontrolables, lo que puede resultar en una variabilidad en la calidad del producto o servicio. Por esta razón, el control de la calidad en un producto o servicio implica, en realidad, el control de la variabilidad inherente al proceso que lo genera. En este sentido, las organizaciones deben utilizar técnicas y herramientas que les permitan identificar, medir, controlar y reducir esta variación en los procesos, con el fin de llevar a cabo las acciones de mejora de calidad necesarias (Hernández et al., 2015).

#### **b. Control estadístico de la calidad**

La calidad de Taguchi se apoya en tres conceptos esenciales. En primer lugar, enfatiza que el diseño en la etapa inicial del producto desempeña un papel fundamental para alcanzar la calidad en el resultado final. Además, sostiene que la calidad de los productos se perfecciona al minimizar la variabilidad alrededor del valor nominal o el objetivo deseado. Por último, concibe los costos de la falta de calidad como una consecuencia de la acción de toda la organización en su conjunto, y específicamente como una función de la variabilidad en los procesos.

La perspectiva de Taguchi se refleja en sus contribuciones más destacadas a la mejora de la calidad, que incluyen la introducción de conceptos como la Función Pérdida de Calidad, la aplicación de Arreglos Ortogonales en la implementación del Diseño de Experimentos, el uso del índice de Señal / Ruido y el índice de Capacidad de Procesos Cpm. Estas herramientas se convierten en valiosos recursos del Control Estadístico de la Calidad para identificar, medir, controlar y reducir la variabilidad en los procesos (Hernández et al., 2015).

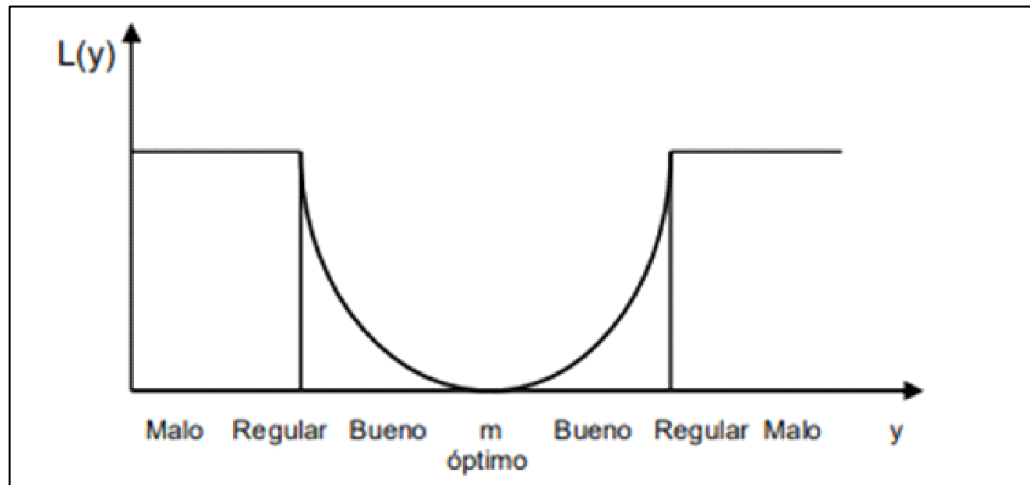
#### **c. Función pérdida de calidad**

Para el examen de las pérdidas relacionadas con la calidad, Taguchi introdujo la Función Pérdida de Calidad, que se representa mediante una función cuadrática con su punto central en el valor nominal "m" de la característica de calidad. Esta función ofrece la capacidad de observar cómo, a medida que la característica de calidad se aleja de "m", la calidad se deteriora y, como resultado, las pérdidas se incrementan. Esto significa que, incluso cuando los

productos cumplen con las especificaciones, los niveles de calidad pueden fluctuar (Hernández et al., 2015).

### Figura 8

*Criterio de la calidad Según G. Taguchi.*



Nota. Extraído de Hernández et al., (2015).

#### d. Índice de capacidad de procesos Cpm.

La calidad inconfundible de un producto comienza en la etapa de diseño y continúa durante la ejecución y seguimiento del proceso de fabricación. Tiene sentido evaluar la capacidad de un proceso para producir unidades que cumplan con las especificaciones cuando la variabilidad es predominantemente atribuible a variables aleatorias o cuando está sujeta a control estadístico (Hernández et al., 2015).

#### e. Propiedades básicas del biocarbón según I.B.I

Para determinar la calidad del biocarbón asociada al uso como enmienda de suelo, esto se evalúa en función de la IBI (International Biochar Initiative, EBC: European Biochar Foundation), los resultados obtenidos con valores referenciales encontrados durante la revisión bibliográfica que se muestran en la Tabla 2.

**Tabla 2**

*Criterios para la evaluación del biocarbón asociada al uso como enmienda de suelo*

Indicador	Calidad asociada al uso como enmienda de suelo		Fuente
	Presenta	No presenta	
Carbono orgánico (C <sub>org</sub> )	> 10 %	≤ 10 %	IBI 2015
Relación H:C <sub>org</sub>	< 0.7	> 0.7	IBI 2015 y EBC 2023
Relación O:C <sub>org</sub>	< 0.4	> 0.4	EBC 2023
Materia Volátil	< 35 %	> 35 %	Denyes et al. 2014
Índice de germinación	> 80 %	< 80 %	Liang et al. 2016

*Nota.* IBI: Intertational Biochar Initiative, EBC: European Biochar Foundation, extraído de (Coro & Salazar, 2023).

## **2.2.5. Marco legal**

### **a. Marco legal internacional**

Las normativas internacionales relacionadas al biocarbón buscan establecer estándares y directrices para su producción, uso y comercialización, asegurando que se aprovechen sus beneficios ambientales y económicos de manera sostenible. A continuación, se presentan algunas de las principales normativas y directrices internacionales:

#### **Certificación de Sostenibilidad del Biocarbón:**

- International Biochar Initiative (IBI): La IBI ha desarrollado normas y directrices para la producción de biocarbón, enfocándose en aspectos como la sostenibilidad de las materias primas, las condiciones de producción y la calidad del biocarbón. Su estándar incluye criterios para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, la mejora de la fertilidad del suelo y la conservación de la biodiversidad.
- European Biochar Certificate (EBC): El EBC proporciona un sistema de certificación para garantizar la producción sostenible de biocarbón en

Europa. Sus normas abarcan desde la selección de materias primas hasta el proceso de producción y el uso final del biocarbón, asegurando que se cumplan altos estándares ambientales y de calidad.

### **Directrices de la FAO sobre Bioenergía y Sostenibilidad:**

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) ha desarrollado directrices para la producción sostenible de bioenergía, incluyendo el biocarbón. Estas directrices promueven prácticas que minimicen el impacto ambiental y social, fomentando el uso de residuos agrícolas y forestales como materias primas y asegurando que la producción de biocarbón contribuya a la seguridad alimentaria y la conservación de los recursos naturales.

### **Normas ISO sobre Bioenergía:**

La Organización Internacional de Normalización (ISO) ha desarrollado diversas normas relacionadas con la bioenergía, incluyendo normas específicas para la caracterización y el uso del biocarbón. Estas normas ayudan a estandarizar los métodos de producción y análisis, asegurando la calidad y facilitando el comercio internacional de biocarbón.

### **Regulaciones de la Unión Europea:**

La Unión Europea ha implementado regulaciones y directrices para promover el uso de energías renovables, incluyendo el biocarbón. La Directiva de Energías Renovables (RED II) establece objetivos y criterios de sostenibilidad para los biocombustibles y biocarburantes, incentivando la producción de biocarbón a partir de fuentes sostenibles y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

### **Iniciativas Voluntarias de Mercado:**

Existen diversas iniciativas voluntarias que promueven la producción y uso sostenible de biocarbón, como el Sistema de Certificación Forestal (FSC) y la Mesa Redonda sobre Biomateriales Sostenibles (RSB). Estas iniciativas desarrollan estándares y certificaciones que aseguran la sostenibilidad de

toda la cadena de suministro del biocarbón, desde la recolección de materias primas hasta su aplicación final.

Estas normativas y directrices internacionales establecen un marco para la producción y uso sostenible del biocarbón, fomentando prácticas que beneficien tanto al medio ambiente como a la economía. La adopción de estos estándares puede ayudar a maximizar los beneficios del biocarbón, incluyendo la mejora de la fertilidad del suelo, la mitigación del cambio climático y el desarrollo de una bioeconomía sostenible.

## **b. Marco legal general política nacional del ambiente y ley general de ambiente**

### **Ley General del Ambiente (Ley Nº 28611)**

Según la Ley General del Ambiente, cada persona tiene derecho a un ambiente sano y equilibrado que fomente el pleno desarrollo humano. También tienen responsabilidades de contribuir a la buena gestión ambiental y salvaguardar el medio ambiente y sus componentes, incluido el mantenimiento de la salud individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, así como el uso sostenible de los recursos naturales como el agua, y el desarrollo sostenible.

### **Decreto Supremo que aprueba la Política Nacional del Ambiente al 2030 (No. 023-2021-MINAM)**

La Política Nacional del Ambiente impulsa el cuidado de la naturaleza y de los ecosistemas, así como de sus bienes y servicios, promoviendo acciones frente al cambio climático, la reducción de la deforestación y contaminación, y para fortalecer la gobernanza y la educación a fin de mejorar el desempeño ambiental del país. Se considera que el principal problema a resolver es la disminución de los bienes y servicios que proveen los ecosistemas que afectan el desarrollo y sustentabilidad ambiental, y se espera que al 2030 permita al país disminuir el índice de fragilidad de los ecosistemas y haya mantenido el estado adecuado de la diversidad biológica.

### **c. Marco legal específico**

- Decreto Legislativo N° 1278, Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos: Define los deberes y derechos, así como las responsabilidades y facultades de la sociedad en general, con el objetivo de fomentar continuamente la eficiencia en la utilización de recursos y garantizar un manejo de residuos sólidos que sea económicamente viable, sanitario y respetuoso con el medio ambiente, conforme a los principios, obligaciones y directrices establecidos.
- Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, Reglamento del Decreto Legislativo N° 1278: Tiene como fin asegurar un aprovechamiento eficiente y constante de los materiales, y normar la administración y tratamiento de los residuos sólidos. Esto incluye la reducción de residuos en su origen, la recuperación material y energética de estos residuos, su disposición final adecuada y la sostenibilidad de los servicios municipales de limpieza.
- NTP N° 900.058.2019, Gestión de Residuos. Código de colores para el almacenamiento de residuos sólidos: Determina la paleta de colores que debe usarse para el almacenamiento correcto de residuos sólidos, tanto en el ámbito de gestión municipal como en el no municipal.
- Modificación al Decreto Legislativo N° 1278, aprobada por el Decreto Legislativo N° 1501: Introduce cambios en los artículos 9, 13, 16, 19, 23, 24, 28, 32, 34, 37, 52, 60, 65 y 70 del decreto original.
- Decreto Supremo N° 015-2017-VIVIENDA, aprueba el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales: Su propósito es establecer pautas para definir las características de los lodos y especificar los parámetros para la producción de biosólidos a partir de la estabilización de aguas residuales generadas en plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales.

## **2.3. Marco Conceptual**

### **2.3.1. Producción de hidrocarbón y biocarbón**

La producción de hidrocarbón y biocarbón a partir de residuos semisólidos de la industria pesquera es un proceso innovador que convierte desechos orgánicos en recursos valiosos. Los residuos semisólidos generados por esta industria, que incluyen restos de pescado, vísceras y otros subproductos, son transformados mediante técnicas de conversión como la pirólisis o la carbonización (Buscaglia & Rodríguez, 2002). Estos procesos no solo permiten la reutilización de materiales que de otro modo serían desechados, sino que también contribuyen a la reducción de la contaminación y al aprovechamiento sostenible de los recursos

Según Kambo & Dutta (2015) el biocarbón, también conocido como carbón vegetal cuando se destina a enmiendas del suelo para la captura y almacenamiento de carbono (CCS), se obtiene mediante la carbonización de biomasa. Este proceso convierte residuos orgánicos renovables en un producto sólido rico en carbono, utilizado tanto como fuente de energía como para mejorar la fertilidad del suelo y reducir la presencia de carbono en la atmósfera, ofreciendo una alternativa más sostenible y ambientalmente responsable en comparación con los hidrocarburos.

Según Taskin et al.(2019) el biocarbón (BC) y el hidrocarbón (HC) son productos sólidos derivados de diversas biomásas a través de los procesos de pirólisis y carbonización hidrotermal, respectivamente. Estos materiales ofrecen una solución sostenible para el secuestro de carbono, contribuyendo así a la mitigación del cambio climático. Además, tanto el BC como el HC tienen aplicaciones importantes como enmiendas del suelo, mejorando su estructura y fertilidad. También son efectivos como sorbentes, capaces de adsorber contaminantes orgánicos e inorgánicos, lo que los convierte en herramientas útiles para la remediación ambiental y el tratamiento de aguas.

Sin embargo (Suarez et al., 2023) mencionan que el hidrocarbón y el biocarbón comparten una funcionalidad similar, su uso y aplicación deben ser cuidadosamente evaluados y comparados. Esto se debe a que las propiedades fisicoquímicas de ambos materiales pueden variar

significativamente debido a las diferentes condiciones operativas empleadas durante su producción. Estas variaciones en las propiedades pueden influir en su desempeño y eficacia en aplicaciones específicas (Suarez et al., 2023)

Los biorresiduos, tales como los lodos de depuradora, los comestibles, el estiércol de ganado y los residuos agrícolas, son utilizados como materias primas en la generación de biocarbón e hidrocarbón (Villamil et al., 2020).

De acuerdo a lo descrito la variable producción de hidrocarbón y biocarbón se define como la creación de materiales carbonos que se producen por condiciones de escasas de oxígeno a ciertas condiciones de temperatura.

### **2.3.2. Optimización de las propiedades básicas**

La optimización de las propiedades básicas de residuos semisólidos de la industria pesquera implica mejorar las características fundamentales de estos desechos, como su composición, textura y contenido de humedad, para maximizar su valor y funcionalidad en aplicaciones industriales y medioambientales. Este proceso puede incluir técnicas de pretratamiento y procesamiento que adecuen los residuos para su conversión en productos útiles, como biocarbón o hidrocarbón. La optimización no solo busca mejorar la calidad y eficacia de los productos resultantes, sino también garantizar que el manejo de los residuos sea eficiente y sostenible, reduciendo el impacto ambiental y promocional.

El rendimiento del biocarbón y sus propiedades fisicoquímicas, como el área superficial, el tamaño de poro, el contenido de carbono y los grupos funcionales, están determinados principalmente por las condiciones del proceso de pirólisis y el tipo de materia prima empleada. Estos parámetros influyen significativamente en la estructura del carbón debido a la liberación de compuestos volátiles durante la pirólisis. La estructura resultante del carbón y sus propiedades fisicoquímicas asociadas son cruciales para la interacción efectiva del carbón con enzimas durante el proceso de inmovilización (Escalante et al., 2016).

Según José & López (2019) que las aplicaciones energéticas, es común utilizar una variedad de materiales carbonosos. Sin embargo, para satisfacer



la alta demanda de energía y ampliar el uso de estos materiales en nuevas aplicaciones, es crucial desarrollar compuestos con propiedades óptimas. En este contexto, la química superficial desempeña un papel fundamental, ya que facilita la adaptación de las propiedades fisicoquímicas del material a las necesidades específicas.

De acuerdo a los conceptos mencionados, el constructo referente a la optimización de los parámetros de calidad, se define como la aplicación de método matemático para determinar los valores de las variables que hacen máximo el rendimiento de un proceso o la mejora de características o medidas específicas que se utilizan para evaluar la excelencia, la adecuación o el rendimiento de un proceso producto o servicio.

#### **2.4. Definición de términos básicos**

**Biocarbón:** Un sólido obtenido de la conversión termoquímica de biomasa en un ambiente con poco oxígeno (Definition, 2015).

**Hidrocarbón:** Es un material carbonoso con valiosas aplicaciones (Cavali et al., 2022).

**Calidad:** Capacidad para satisfacer lo que el usuario final desea y percibe como valor (Infinitia, 2022).

**Lodos Residuales:** Los lodos residuales son como desechos peligrosos debido a su alto contenido de coliformes fecales (Semarnat, 2002).

**Industria:** La industria es un sector cuya actividad es transformar materias primas en productos de consumo final o intermedio. La gran mayoría de actividades industriales se engloban dentro del sector secundario (Federico Caballero, 2007).

**Industria Pesquera:** Se considera parte de la industria pesquera a cualquier actividad relacionada con la recolección, cultivo o procesamiento de animales marinos para aprovechamiento humano (Indeed, 2023).

**Producción:** La producción es la actividad económica que se encarga de transformar los insumos para convertirlos en productos (Economipedia, 2019).

**Carbonización Hidrotermal:** Es la deshidratación y descarboxilación combinadas de un combustible para aumentar su contenido de carbono con el objetivo de lograr un mayor poder calorífico (Funke y Ziegler, 2010).

**Pirolisis:** Es aquel en el que se produce la degradación de la biomasa por efecto del calor sin la presencia de oxígeno, es decir, en una atmósfera completamente inerte (Ceupe, 2019).

**Parámetro:** Es un elemento de un sistema que permite clasificarlo y poder evaluar algunas de sus características como el rendimiento, la amplitud o la condición” (Economipedia, 2020).

**Biomasa:** La biomasa es el término empleado para referirse al combustible derivado de vegetales como residuos de madera, cultivos, así como excremento de animales (Edomah 2018).

**Tratamiento:** Cualquier proceso, método o técnica que modifica las característica física, química o biológica del residuo sólido, a fin de reducir o eliminar su potencial peligro de causar daños a la salud y el ambiente, con el fin de prepararlo para su posterior valorización o disposición final (MINAM 2016).

### **III. HIPOTESIS Y VARIABLES**

#### **3.1. Hipótesis**

##### **Hipótesis general**

La producción de hidrocarbón y biocarbón permite significativamente la optimización de las propiedades básicas de residuos semisólidos de la industria pesquera, Tambo de Mora – Chincha, 2024.

##### **Hipótesis específicas**

- Existe una producción más eficiente significativa de hidrocarbón mediante la optimización de tiempo y la temperatura de carbonización hidrotermal del proceso operacional.
- Existe una producción más eficiente significativa de biocarbón mediante la optimización de tiempo y la temperatura de pirólisis del proceso operacional.
- Existe una diferencia significativa entre las propiedades básicas en la producción óptima de hidrocarbón y biocarbón.

### 3.1.1. Operacionalización de la variable

**Tabla 3.**

*Matriz de Operacionalización*

PRODUCCIÓN DE HIDROCARBÓN Y BIOCARBÓN PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES BÁSICAS DE RESIDUOS SEMISÓLIDOS DE LA INDUSTRIA PESQUERA, TAMBO DE MORA - CHINCHA, 2024							
VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	INDICE/ITEM	MÉTODO	TÉCNICA
<b>Independiente:</b> Producción de hidrocarbón y biocarbón	La producción de hidrocarbón y biocarbón a partir de residuos semisólidos de la industria pesquera es un proceso innovador que convierte desechos orgánicos en recursos valiosos. Los residuos semisólidos generados por esta industria, que incluyen restos de pescado, vísceras y otros subproductos, son transformados mediante técnicas de conversión como la pirolisis o la carbonización (Buscaglia & Rodríguez, 2002).	La producción de hidrocarbón y biocarbón se define como la creación de materiales carbonosos que se producen por condiciones de escases de oxígeno a ciertas condiciones de temperatura y tiempo de carbonización.	Hidrocarbón	60 min	min	Hipotético - Deductivo	Observación experimental
				90 min			
			100 °C	°C			
			300 °C				
Biocarbón	60 min	min					
	120 min						
				300 °C	°C		
				700 °C			
VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSION	INDICADORES	INDICE/ITEM		
<b>Dependiente:</b> Optimización de propiedades básicas	La optimización de las propiedades básicas de residuos semisólidos de la industria pesquera implica mejorar las características fundamentales de estos desechos, como su composición, textura y contenido de humedad, para maximizar su valor y funcionalidad en aplicaciones industriales y medioambientales (Escalante et al., 2016).	La optimización de las propiedades básicas se medirá en función de las propiedades fisicoquímicas de los materiales carbonosos.	Eficiencia de producción	Cantidad de producción de material carbonosos	%	Hipotético - Deductivo	Observación experimental
				Carbono Orgánico	%		
			Propiedades fisicoquímicas	Relación H:C (orgánico)	Uni		
				N, P, K	%		
				Humedad	%		
				Ceniza	%		
	Materia Volátil	%					

## **IV. METODOLOGÍA**

### **4.1. Diseño metodológico**

La investigación fue de tipo básica, ya que su propósito es el de aportar nuevos conocimientos sobre la influencia de la carbonización hidrotermal (HTC) y la pirólisis en la calidad del hidrocarbón y biocarbón producidos a partir de lodos de la industria pesquera, sirviendo así de base para futuras investigaciones aplicadas (Ñaupas, 2020).

Este estudio tuvo un nivel explicativo, con el objetivo de confirmar hipótesis causales y descubrir nuevas leyes científicas a nivel social, así como micro-teorías que permitan esclarecer relaciones causales entre las propiedades o aspectos de fenómenos, eventos y procesos sociales (Ñaupas et al., 2018).

La investigación tuvo un enfoque cuantitativo, utilizando métodos y técnicas cuantitativas que involucraron la medición, el uso de magnitudes, la observación y medición de las unidades de análisis, el muestreo, el tratamiento estadístico y la prueba de hipótesis (Ñaupas, 2020).

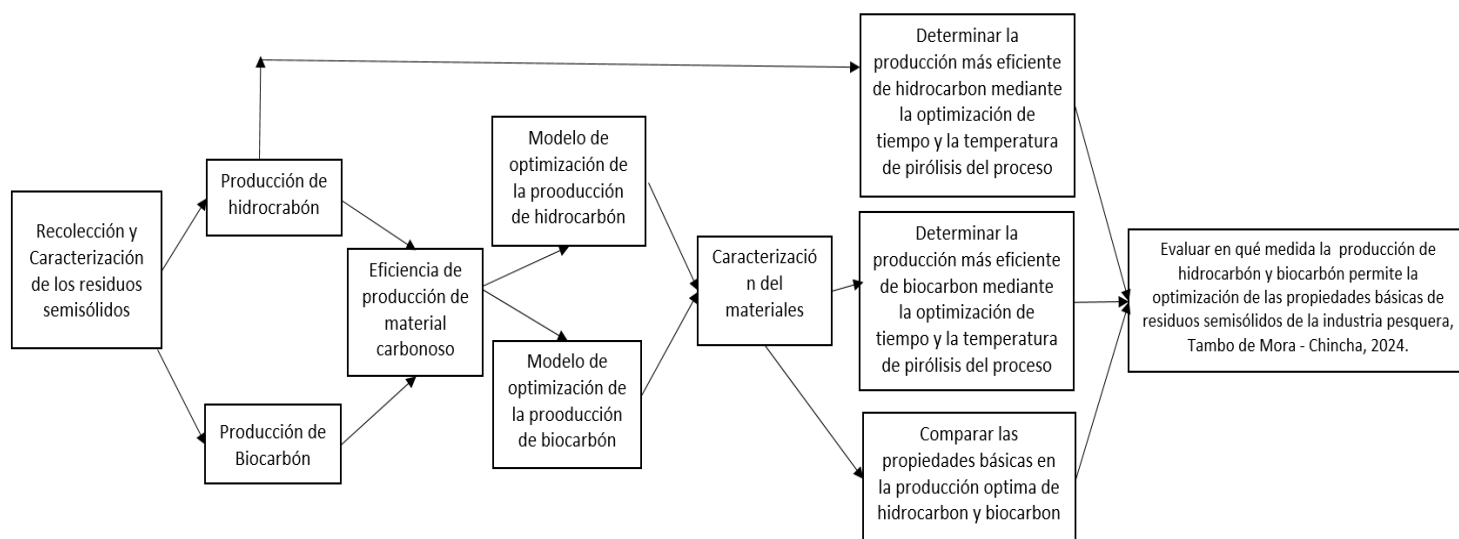
El diseño de la investigación fue experimental, ya que se manipuló intencionalmente la variable independiente "Producción de hidrocarbón y biocarbón" a través de diversos factores, para examinar el efecto sobre la variable dependiente "optimización de propiedades básicas" a partir de lodos de la industria pesquera (Ñaupas, 2020).

### **4.2. Método de investigación**

En esta investigación se aplicó el método hipotético-deductivo, que consiste en partir de una hipótesis y deducir conclusiones para determinar la verdad o falsedad de los hechos mediante la deducción lógica. Para comprobar las hipótesis específicas, se llevaron a cabo una serie de procedimientos experimentales que se presentan en el siguiente diagrama. Este diagrama ilustra los pasos a seguir para alcanzar los objetivos de la investigación.

**Figura 9**

**Diagrama de los procedimientos experimentales**



#### **4.2.1.1. Recolección y caracterización de los residuos semisólidos**

##### **a. Recolección de muestras de residuos semisólidos de la industria**

Siguiendo los lineamientos de la R.M. N°093-2018-VIVIENDA que aprueba el protocolo de Monitoreo de Biosólidos y Decreto Supremo N° 015-2017-VIVIENDA que aprueba el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. Se recolectó 80 L de lodos de los procesos pesqueros.

##### **b. Caracterización de lodos de recolectados**

Para la caracterización inicial de lodos, se realizó un análisis de peligrosidad que incluyó diversos elementos fisicoquímicos. Además, se llevó a cabo una caracterización utilizando análisis infrarrojo por transformada de Fourier (FT-IR) del lodo, este método permitió obtener una comprensión integral de la composición y propiedades de los lodos, evaluando tanto su contenido de grupos funcionales.

## **4.2.2. Determinación de la eficiencia de producción de biocarbón e hidrocarbón**

### **a. Eficiencia de producción**

La eficiencia de producción de Biocarbón y el Hidrocarbón se midió en función de la pérdida de masa mediante la pirólisis. La fórmula está dada por lo siguiente ecuación:

$$\% \text{ eficiencia} = \frac{W_f}{W_i} \times 100$$

Donde:

*W<sub>i</sub>* = peso inicial del lodo

*W<sub>f</sub>* = peso final del biocarbon o hidrocarbon obtenido

### **b. Evaluación de las propiedades básicas**

Se recolectaron 3 muestras de Hidrocarbón que se obtendrá del tratamiento por Carbonización Hidrotermal (HTC), y 3 muestras de Biocarbón obtenidas del proceso de pirólisis, 7 en total, cada muestra con un pesaje de 100 g al laboratorio debidamente acreditado para poder determinar las propiedades fisicoquímicas y compararlas: Carbono Orgánico (C<sub>org</sub>), relación H:C (Carbono orgánico), nitrógeno, fosforo, potasio, humedad y ceniza.

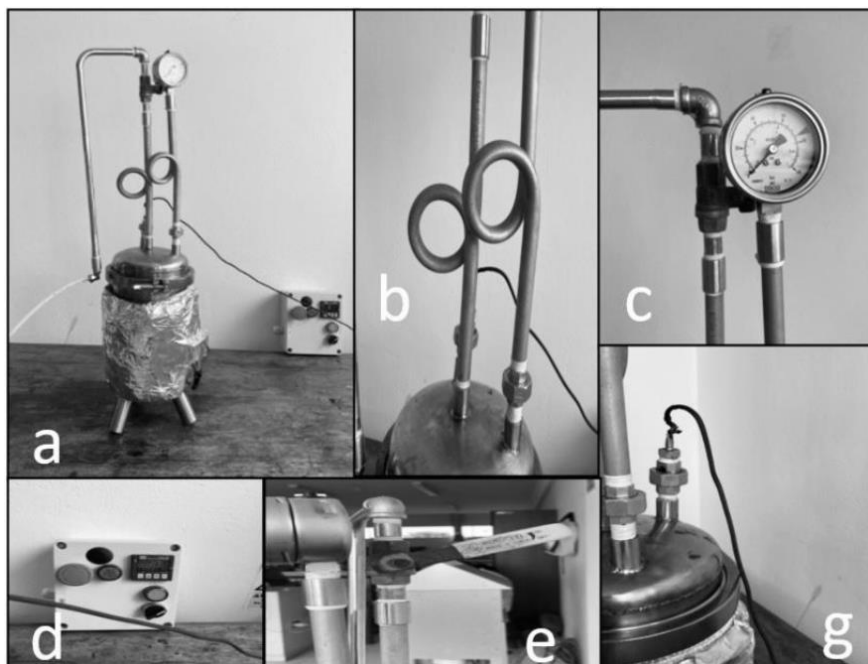
## **4.2.3. Optimización de la producción de hidrocarbón**

### **a. Producción de hidrocarbón**

Para la producción de hidrocarbón, se empleó la metodología propuesta por Wang et al. (2023) como referencia. Se realizó el acondicionamiento del lodo residual, dejándolo secar durante 48 horas. Se acondicionó el reactor pirolítico para la producción de carbón hidrotermal y se controlaron la temperatura y la presión durante el proceso de pirólisis. La pirólisis de los lodos residuales se llevó a cabo conforme al diseño experimental establecido. Después de este proceso, se permitió que el reactor se enfriara durante un período de 2 horas, tras lo cual se retiraron los residuos para su pesado y la determinación del rendimiento del carbón hidrotermal. Una vez retirado del reactor, se extendió el carbón hidrotermal en una base para que continuara perdiendo humedad. Posteriormente, se procedió con la molienda y el pesaje a través de un tamiz.

**Figura 10**

**Reactor pirolítico**



*Nota: Reactor de pirólisis con temperatura controlada, (a) vista frontal; (b) Difusores de calor; (c) manómetro; (d) Controlador de temperatura; (e) salida de gases y (f) sensor de temperatura hidrotermal*

**b. Diseño de optimización para a producción de hidrocarbón**

El planteamiento de diseño experimental para la producción de hidrocarbón se realizó mediante el método de superficie de respuesta (MSR) mediante el modelo diseño Box-Bencken. Los factores estudiados son A: Tiempo de producción (min) y B: Temperatura de pirólisis (°C). El diseño experimental contempló 12 tratamientos con 3 repeticiones y 3 puntos centrales y 4 puntos axiales un tratamiento de control siendo un total de 19 tratamientos (Tabla 4).



**Tabla 4***Matriz experimental para la producción de hidrocarbón*

Tratamiento	A:Tiempo (min)	B:Temperatura (°C)
1	300	100
2	180	300
3	300	300
4	180	100
5	300	100
6	180	100
7	240	200
8	240	200
9	300	300
10	240	200
11	351,67	200
12	300	100
13	300	300
14	180	300
15	240	13,87
16	128,32	200
17	180	300
18	180	100
19	240	386,12

#### **4.2.4. Optimización de la producción de biocarbón**

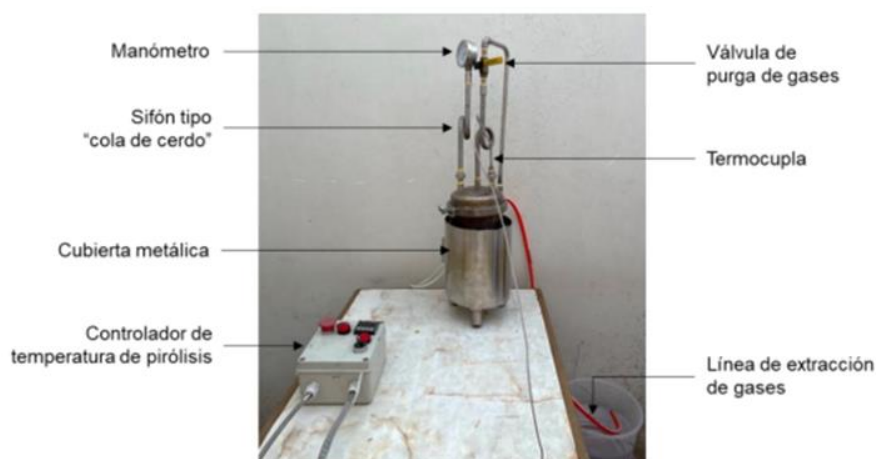
##### **a. Producción de biocarbón**

Se llevó a cabo un proceso de secado al ambiente durante 15 días. Luego, los lodos de Industria Pesquera se sometieron a un proceso de secado en un secador convectivo diseñado específicamente para eliminar la humedad por convección, con circulación de aire caliente alrededor de la muestra. Este secado se realizó a una temperatura de 70°C durante 12 horas. Posteriormente, se procedió con la producción de biocarbón mediante el proceso de pirólisis en un reactor pirolítico de 4 litros. Las muestras restantes de lodo, previamente secadas a temperatura ambiente y en un horno eléctrico para eliminar la

humedad restante, se introdujeron en el reactor pirolítico para iniciar el proceso de acuerdo al diseño experimental, bajo condiciones anaeróbicas. El tiempo de residencia fue de 90 min como mínimo y un máximo de 132 min, según la Tabla 5, con una velocidad de calentamiento de 12°C/min. Una vez concluido el proceso de pirólisis de cada muestra, se dejó enfriar el reactor a temperatura ambiente para luego retirar el biocarbón. Cada muestra obtenida se molerá con un mortero de porcelana y se tamizará (N°40). Posteriormente, se colocarán en bolsas herméticas para realizar el pesado correspondiente y estimar el rendimiento de la producción del biocarbón, así como las propiedades básicas.

### Figura 11

*Partes del reactor de pirólisis para producción de biocarbón*



*Nota. Elaboración propia*

#### **b. Diseño de optimización para a producción de Biocarbón**

El planteamiento de diseño experimental para la producción de biocarbón se hizo mediante el método de superficie de respuesta (MSR) mediante el modelo central compuesto (MCC). Los factores estudiados son A: Tiempo de producción (min) y B: Temperatura de pirólisis (°C). El diseño experimental contempló 12 tratamientos con 3 repeticiones y 3 puntos centrales y 4 puntos axiales un tratamiento de control siendo un total de 19 tratamientos (Tabla 5).

**Tabla 5***Matriz experimental para la producción de biocarbón*

<b>Tratamiento</b>	<b>A:Tiempo</b>	<b>B:Temperatura</b>
	min	°C
1	90	500
2	120	650
3	120	650
4	105	575
5	90	500
6	77,02	575
7	105	575
8	120	650
9	132,92	575
10	90	500
11	105	435,41
12	90	650
13	105	575
14	120	500
15	105	714,59
16	90	650
17	90	650
18	120	500
19	120	500

### **4.3. Población y muestra**

#### **4.3.1. Población**

La población viene a ser el conjunto de objetos, hechos, sucesos que se van a estudiar con diversas técnicas (Ñaupas, 2020). Para este estudio, se plantea a la unidad de estudio de los residuos semisólidos de la industria pesquera de tambo de Mora, estos residuos se medirán como una unidad de estudio toneladas o su equivalente en kilogramos. Para determinar la población se ha considerado “todos los residuos generados en la industria pesquera de Tambo

de Mora, Chincha en el 2024". Aproximadamente, se producen 725.990 toneladas de biosólidos en un año promedio el cual consta de dos temporadas, durante la I Temporada la cual corresponde a los meses de Abril, Mayo y Junio; y en la II Temporada durante los meses de Noviembre, Diciembre y Enero.

#### **4.3.2. Muestra**

Para la determinación de la muestra se plantea un tipo de muestreo no probabilístico por conveniencia. El muestreo no probabilístico por conveniencia es un método de recolección de datos en el que los investigadores seleccionan a la muestra basándose en su disponibilidad y conveniencia. En este enfoque, los sujetos serán elegidos porque son accesibles o están disponibles en el momento del estudio. El criterio para seleccionar la muestra se estableció en función del número de experimentos a realizar y la muestra de la caracterización inicial, esto se determina con la siguiente formulación:

$$n = (T \times C) + I$$

Donde:

*n = Cantidad de muestra (Kg)*

*T = Cantidad de Tratamientos experimentales*

*C = Cantidad de residuos semisólidos por tratamiento experimental*

*I = Cantidad inicial para caracterización*

De acuerdo con la matriz experimental, para cada producción de material carbonoso se llevarán a cabo 19 experimentos, y para cada experimento, se utilizarán 100 g de muestra en el reactor, con una pérdida de 90% de agua al secado de los lodos, además la cantidad de muestra de caracterización inicial, lo que suma un total de 20 kg de lodos residuales de la industria pesquera.

#### **4.4. Lugar de estudio y periodo desarrollado**

La recolección de las muestras tiene origen en la empresa pesquera CFG Investment ubicada en Av. Industrial 568, distrito de Tambo de Mora. Durante los meses de Marzo-Abril del 2024.

## Figura 12

*Mapa de ubicación de la empresa pesquera*



### 4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de información

#### 4.5.1. Técnica

La técnica que se empleó fue la observación experimental, la cual consiste en estudiar el comportamiento de las variables en un entorno controlado. En este enfoque, los investigadores manipularon deliberadamente una o más variables independientes y observaron cómo estas manipulaciones afectaron a una o más variables dependientes (Ñaupas et al., 2014). En el desarrollo de la presente tesis, se manipularon los indicadores de la variable independiente, como la temperatura y el tiempo de carbonización.

#### 4.5.2. Instrumento

La recolección se realizó mediante fichas experimentales, que sirven como una guía para observar los cambios que se generen en la variable dependiente de acuerdo al diseño experimental desarrollado en la investigación. La validez de la ficha experimental se refuerza a través de los ensayos analíticos de los laboratorios externos. La Tabla 6 muestran los instrumentos a usar por las etapas de investigación.

**Tabla 6***Cuadro de Técnicas e Instrumentos para la recolección de información*

<b>Etapas</b>	<b>Técnicas</b>	<b>Instrumentos</b>
Muestreo de lodos de la industria pesquera	Observación experimental	Registro de recolección de datos
Experimentación	Observación experimental	Informes de ensayo

Los ensayos analíticos son técnicos experimentales que se desarrollan para analizar los indicadores de la variable dependiente. La Tabla 7 resume los métodos de análisis de laboratorio de los ensayos analíticos con un método de ensayo estandarizado.

**Tabla 7***Análisis de ensayo*

<b>Indicadores</b>	<b>Unidades</b>	<b>Equipo y/o instrumento</b>	<b>Método</b>
N, P, K	%	Instrumentos de laboratorio	Kjeldahal, UV-VIS, Absorción atómica-Llama
C <sub>org</sub>	%		NOM-021-RECNAT-2000 AS-07
H:C <sub>org</sub>	Sin unidad		
Ceniza	%		ISO 21656
Humedad	%		Gravimetría
FTIR-ATR	cm <sup>-1</sup>		ASTM E1252

#### **4.6. Análisis y procesamientos de datos**

Para el procesamiento de información se explicó de acuerdo a la estadística descriptiva e inferencial.

### 4.2.1. Análisis descriptivo

#### a. Cálculos de descriptivos

De acuerdo al diseño experimental planteado en esta investigación como primeros resultados se realizó una tabla con indicadores descriptivos, señalando la media, los máximos, mínimos y desviación estándar por cada indicador de estudio.

#### b. Elaboración de gráficos

Se elaboraron los gráficos de efectos según el diagrama de 3D y los gráficos de efectos por cada factor de estudio.

### 4.2.2. Análisis inferencial

El diseño experimental ha planteado un método de superficie de respuesta para poder optimizar los experimentos, este diseño se analizó mediante el estadístico F del ANOVA, que también nos presenta otros estadísticos como el coeficiente de determinación, ( $R^2$ ) y  $R^2$  ajustado.

El método de superficie de respuesta en un primer análisis planteó una regresión lineal que permitió identificar los términos relevantes del modelo estadístico como se muestra a continuación:

$$y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + B_4X_2X_3 + B_5X_1X_3 + B_6X_1X_2 + B_7X_1X_2X_3$$

Dónde:

$B_n =$  coeficientes de cada factor

$X_n =$  parámetros

Para el planteamiento del diseño de experimentos y el desarrollo de la metodología de superficie de respuesta se utilizó el software Excel para el procesamiento de datos descriptivos y el *Desing expert* versión 11 para el procesamiento de los datos inferenciales.

#### **4.7. Aspectos éticos en investigación**

La presente tesis cumple con el reglamento de propiedad intelectual (Res. 1206-2019-R) y el código de ética del investigador (Res. 260-2019-CU), respetando la propiedad intelectual de los autores que se mencionan como referencia.



## V. RESULTADOS

### 5.1. Resultados descriptivos

#### 5.1.1. Eficiencia de producción de biocarbón e hidrocarbón

La Tabla 8 y la Tabla 9 muestran los efectos de la temperatura y el tiempo de carbonización sobre la eficiencia de biocarbón e hidrocarbón. Se ha observado que el rendimiento del producto sólido disminuye significativamente con el aumento de la temperatura, lo que concuerda con los hallazgos de la literatura sobre la carbonización hidrotermal y la pirólisis del biocarbón. Para efectos de la interpretación se muestra que la máxima eficiencia la mayor eficiencia se da cada vez que disminuye la temperatura, mejor dicho, cuando el material carbono tienen un mayor tiempo y mayor temperatura disminuye su eficiencia. De la Tabla 8, de un tiempo de 180 min y temperatura de 100°C tenemos una eficiencia máxima de 33.5%, mientras que a un tiempo de 351,67 min y temperatura de 200°C tenemos una eficiencia mínima de 14.5% en la producción de hidrocarbón.

**Tabla 8**

*Eficiencia de producción del hidrocarbón*

Tratamiento	A: Tiempo (min)	B: Temperatura (°C)	Eficiencia de producción (%)
1	300	100	28,3
2	180	300	18,4
3	300	300	16,7
4	180	100	35,5
5	300	100	29,7
6	180	100	33,5
7	240	200	25,6
8	240	200	24,8
9	300	300	15,1
10	240	200	27,2

<b>Tratamiento</b>	<b>A: Tiempo (min)</b>	<b>B: Temperatura (°C)</b>	<b>Eficiencia de producción (%)</b>
11	351,67	200	14,5
12	300	100	28,5
13	300	300	15,8
14	180	300	19,43
15	240	13,87	27,4
16	128,32	200	26,3
17	180	300	20,34
18	180	100	32,5
19	240	386,12	16,8

La Tabla 9 se muestra que a un tiempo de 105 min y temperatura de 435,41°C tenemos una eficiencia máxima de 27.97%, también se muestra para una eficiencia menor a un tiempo de 105 min y temperatura de 714,56°C tenemos una eficiencia de 17,48% en la producción de biocarbón.

**Tabla 9**

*Eficiencia de producción del biocarbón*

<b>Tratamiento</b>	<b>A: Tiempo (min)</b>	<b>B: Temperatura (°C)</b>	<b>Eficiencia de producción (%)</b>
1	90	500	23,87
2	120	650	20,45
3	120	650	19,52
4	105	575	22,61
5	90	500	26,71
6	77,02	575	25,76
7	105	575	23,21
8	120	650	21,23
9	132,92	575	19,61
10	90	500	23,52
11	105	435,41	27,97

Tratamiento	A: Tiempo (min)	B: Temperatura (°C)	Eficiencia de producción (%)
12	90	650	24,52
13	105	575	23,35
14	120	500	26,65
15	105	714,59	17,48
16	90	650	23,31
17	90	650	24,78
18	120	500	26,78
19	120	500	25,78

### 5.1.2. Caracterizaciones de las propiedades básicas del biocarbón e hidrocarbón

#### a. Características fisicoquímicas del biocarbón e hidrocarbón

En la Tabla 10 los valores que se obtuvieron a partir del análisis de caracterización realizado en los biocarbón e hidrocarbón, esto se llevó a cabo en el laboratorio SLAB S.A.C. En cuanto a los resultados obtenidos en la Tabla 10, se encuentran alto grado de ceniza en el biocarbón que en el hidrocarbón. De igual manera el hidrocarbón presenta un bajo nivel de fosforo en comparación con el biocarbón, con un mayor contenido de humedad, referente al C<sub>org</sub> se ha mantenido el carbono orgánico en ambos procesos, pero hubo una disminución significativa en la relación carbono nitrógeno.

**Tabla 10**

*Análisis de las propiedades básicas de los lodos residuales, hidrocarbón y biocarbón*

Muestras	Cenizas %	Nitrógeno %	Fósforo %	Potasio %	Humedad %	C <sub>org</sub> %	Relación H:C
Lodos							
Pesquera	24.72	6.60	11.93	0.42	13.64	16.75	1.63
Biocarbón (Réplica 1)	39.27	7.43	14.15	0.43	9.86	21.07	0.94

Biocarbón (Réplica 2)	41.28	7.07	16.11	0.48	9.58	21.22	0.90
Biocarbón (Réplica 3)	40.66	7.07	14.74	0.49	10.69	21.68	0.99
Hidrocarbón (Réplica 1)	16.13	9.25	6.15	0.25	23.31	21.08	2.21
Hidrocarbón (Réplica 2)	16.07	8.74	6.34	0.27	26.36	21.43	2.46
Hidrocarbón (Réplica 3)	12.31	8.26	5.30	0.19	31.94	20.82	3.07

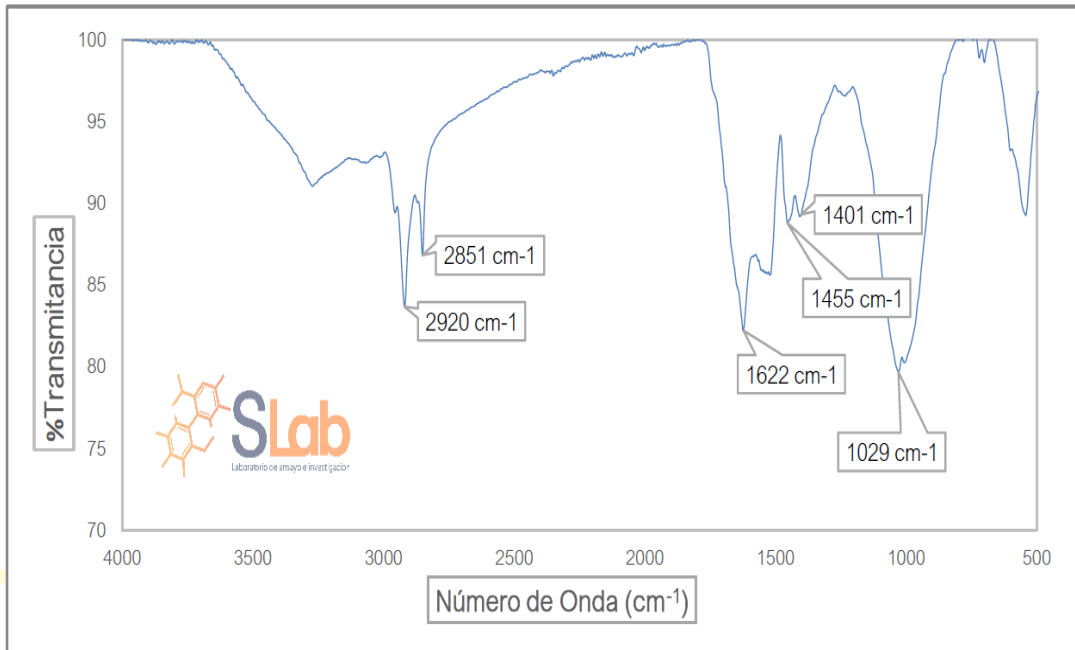
#### **b. Características del biocarbón e hidrocarbón de lodos semisólidos de la industria pesquera**

La caracterización de los biocarbón se ejecutó por medio del análisis de espectroscopia infrarroja (FTIR-ATR), la cual permite identificar grupos funcionales en las muestras de biocarbón e hidrocarbón.

La espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier se utiliza para dilucidar el mecanismo de adsorción de diferentes carbones en el presente estudio. En este método, se utilizó el rango de número de onda de 380 a 4000  $\text{cm}^{-1}$  y los resultados se muestran en la Figura 13 y Figura 14 del biocarbón e hidrocarbón, respectivamente, ambas denotan intensidad en los grupos alcanos C-H a 2920  $\text{cm}^{-1}$ , ambos muestran picos en grupos funcionales carboxilos C=O a 1622  $\text{cm}^{-1}$ . Así mismo, en el biocarbon e hidrocarbon presentan grupos funcionales éteres C-O-C, intensos, en el rango de 1000 a 1250  $\text{cm}^{-1}$ , los cuales son característicos tanto para un hidrocarbón y como para un biocarbón.

**Figura 13**

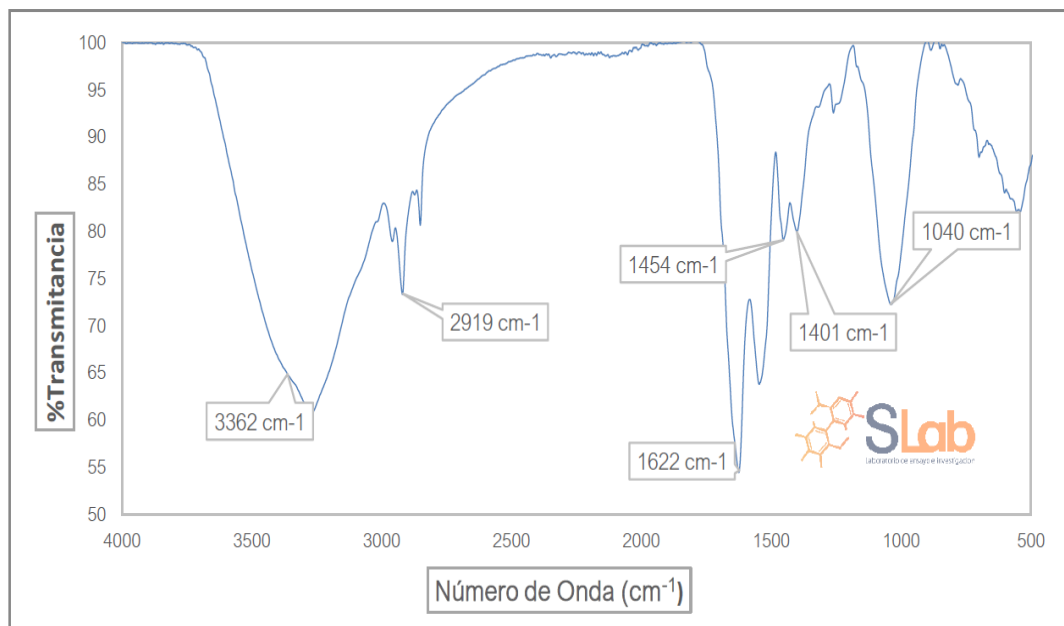
*Espectro infrarrojo FTIR-ATR del biocarbón.*



*Nota.* Adaptado a partir de los resultados del laboratorio SLAB S.A.C.

**Figura 14**

*Espectro infrarrojo FTIR-ATR del hidrocarbón*



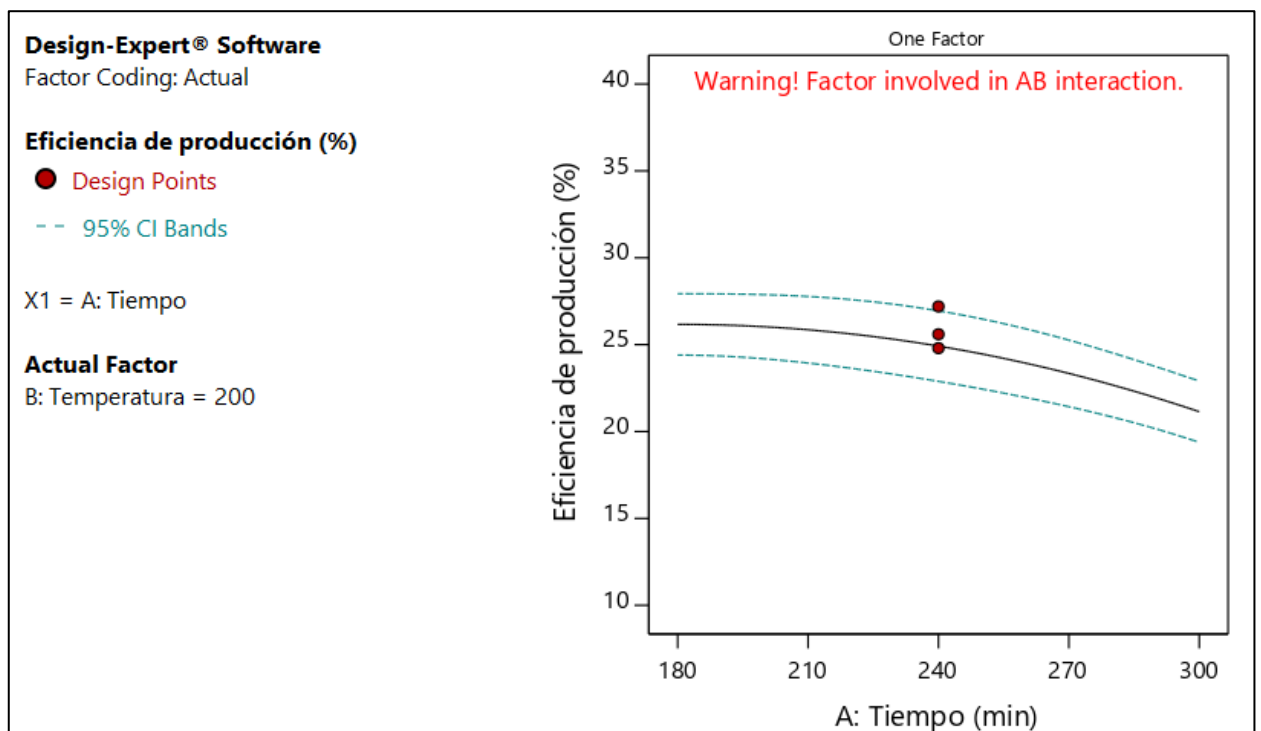
*Nota.* Adaptado a partir de los resultados del laboratorio SLAB S.A.C.

### 5.1.3. Efecto de la producción de hidrocarbón

La Figura 15 muestra que, a medida que aumenta el tiempo de carbonización disminuye la eficiencia de producción del hidrocarbón, el tiempo de preparación de hidrocarbón en 5 horas por las características del lodo de la industria pesquera en un rango de 20% a 25%. De igual forma de la temperatura a medida que disminuya la eficiencia de producción (%).

**Figura 15.**

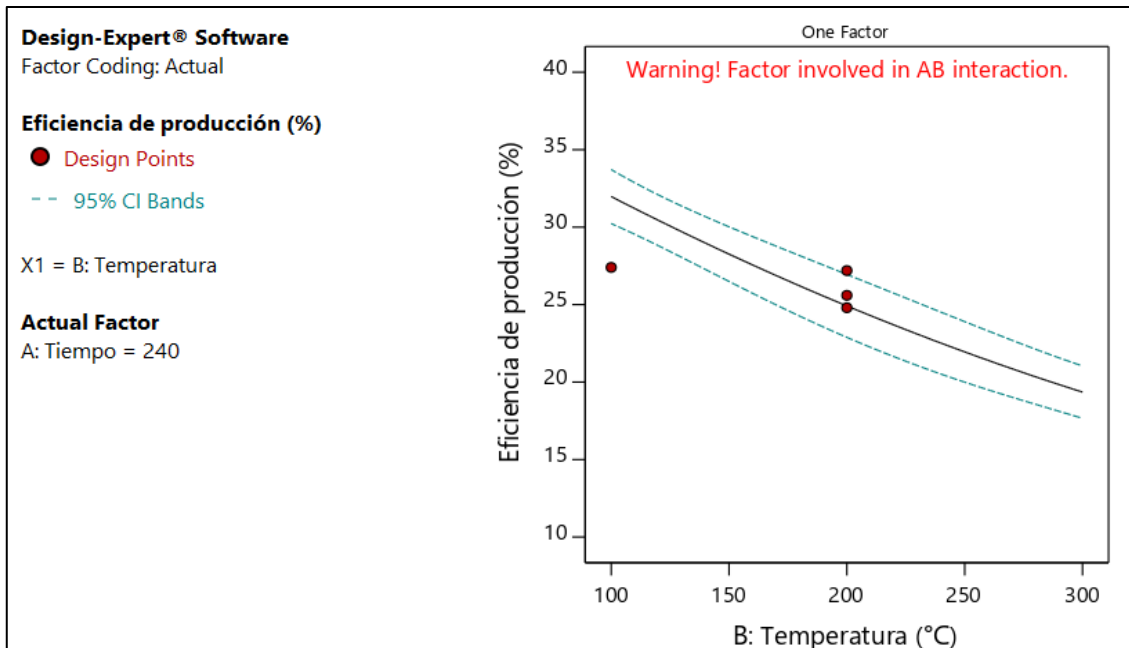
*Efectos del tiempo en la eficiencia de producción (%)*



La Figura 16 muestra que, a medida que aumenta la temperatura de carbonización disminuye la eficiencia de producción del hidrocarbón, el tiempo de preparación de hidrocarbón en 5 horas por las características del lodo de la industria pesquera en un rango de 20% a 33%.

**Figura 16.**

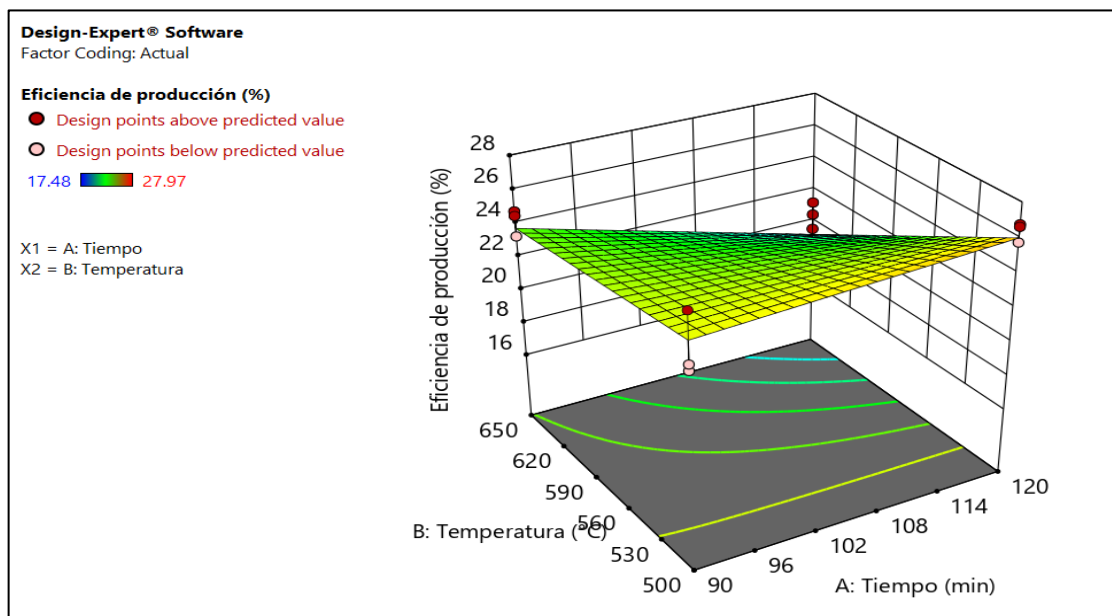
*Efectos de la temperatura en la eficiencia de producción (%)*



La figura 17 muestra un gráfico cuadrático de interacción de la temperatura y tiempo donde a medida que aumenta la temperatura y a medida que aumenta el tiempo la eficiencia de producción disminuye (%).

**Figura 17**

*Efectos de la temperatura y tiempo en la eficiencia de producción (%)*



## 5.2. Resultados Inferenciales

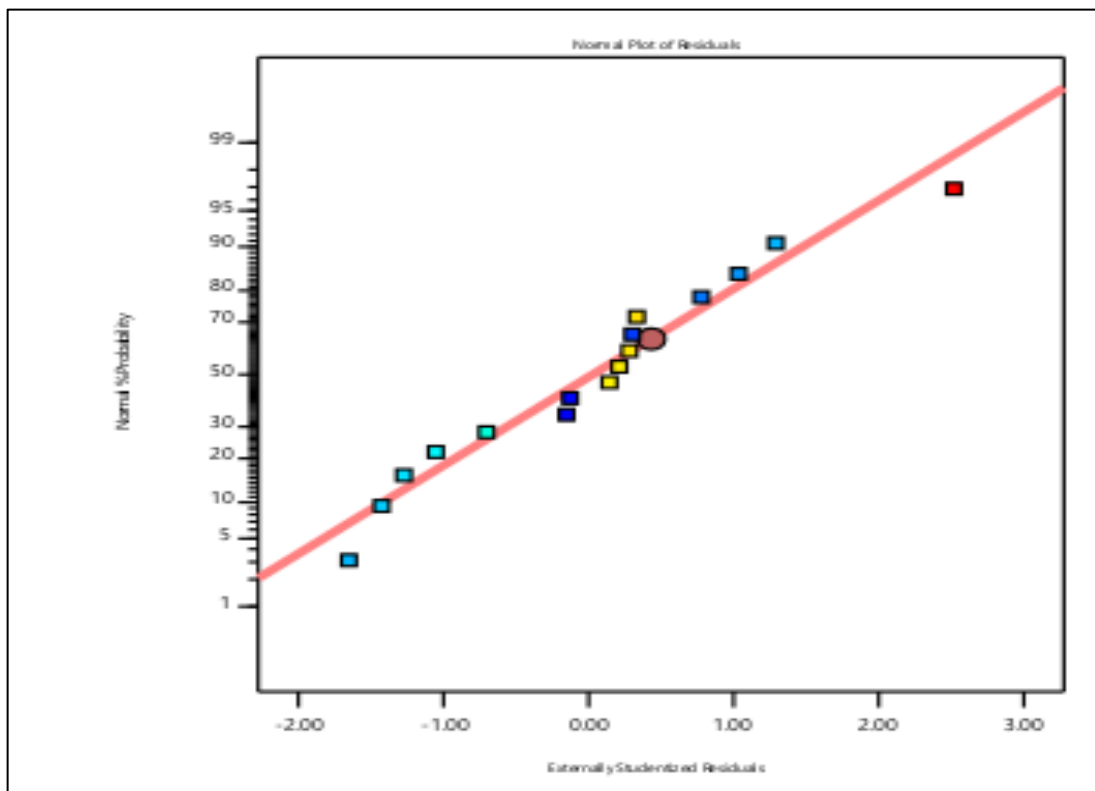
### 5.2.1. Resultados inferenciales de la producción de biocarbón

#### a. Normalidad

El análisis de normalidad es una técnica estadística utilizada para evaluar si una muestra de datos sigue una distribución normal o gaussiana. La distribución normal es una distribución de probabilidad continua que se caracteriza por ser simétrica alrededor de su media, con la mayoría de los datos concentrados cerca de la media y una cola que se extiende hacia los extremos. El análisis de la normalidad en forma gráfica nos permite evidenciar la distribución de los valores en la recta normal. Como se muestra en la Figura 18 la tendencia de los resultados sigue la recta normal (Línea roja) para los datos de la eficiencia de producción del biocarbón.

#### **Figura 18**

*Gráfica de la normalidad de eficiencia de producción de biocarbón*



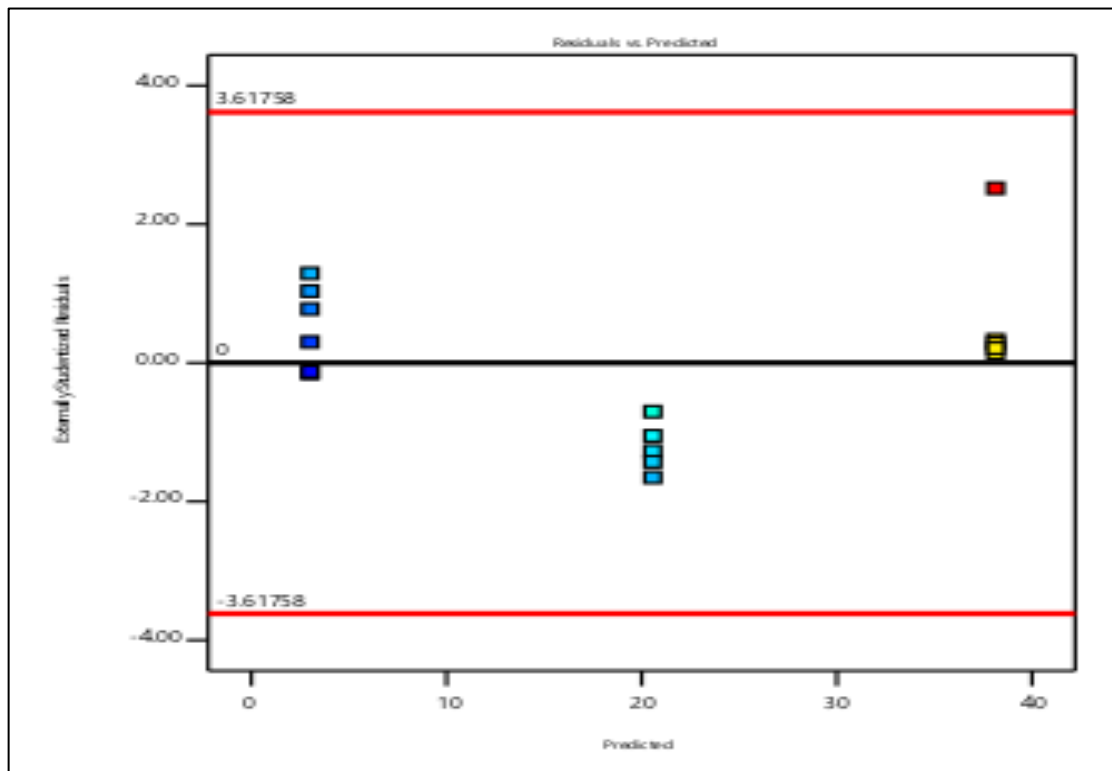


### b. Homogeneidad de la varianza

En la Figura 19 se grafican los residuales contra los valores ajustados para los datos del % producción de biocarbón. Las distribuciones de los resultados no presentan una tendencia, la varianza de las observaciones no se incrementa cuando la magnitud de la observación se incrementa. Por lo tanto, no es el caso si el error o ruido de fondo del experimento fuera un porcentaje constante de la magnitud de la observación.

**Figura 19**

*Homogeneidad de la varianza de eficiencia de producción de biocarbón*



### c. Análisis de la varianza (ANOVA)

En la Tabla 11 se observa el análisis ANOVA para los valores medios. Se calcularon la suma de cuadrados, la varianza, el valor F, la p y la tasa de contribución porcentual (PCR) para los dos factores estudiados en los productos carbonosos. En los dos casos, los valores más altos estuvieron relacionados con la temperatura. Con base en los resultados de los tipos de valores medios que se determinó el rol de cada factor y con base en ello se determinó el ranking y

niveles óptimos de los factores. La Tabla 11 muestra el tiempo y la temperatura tienen una significancia  $p < 0.05$ .

**Tabla 11**

*Matriz ANOVA la eficiencia de producción (%) de biocarbón a diferentes temperaturas y tiempos de pirólisis*

Parámetro	DOF	Suma de Cuadrados	Diferencia	valor F	P-value
A-Tiempo	2	332.346	166.173	103,67	0.0022
B-Temperatura	2	458.613	229.306	143.06	0.0030
Error	18	0,288	0,16		
Total	26	8452.64			

La ecuación del modelo de eficiencia de producción del biocarbón es la siguiente:

$$\text{Eficiencia de producción} = +25.53 - 0.9373A - 2.06B - 1.38AB$$

Dónde:

$A = \text{Tiempo}$

$B = \text{Temperatura}$

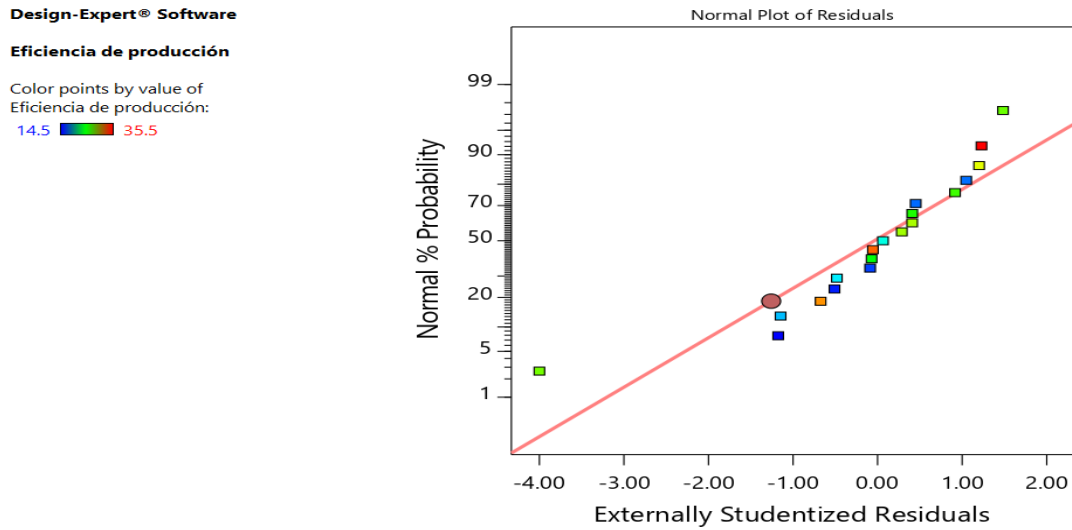
## 5.2.2. Resultados inferenciales de la producción de hidrocarbón

### a. Normalidad

El análisis de normalidad es una técnica estadística utilizada para evaluar si una muestra de datos sigue una distribución normal o gaussiana. La distribución normal es una distribución de probabilidad continua que se caracteriza por ser simétrica alrededor de su media, con la mayoría de los datos concentrados cerca de la media y una cola que se extiende hacia los extremos. El análisis de la normalidad en forma gráfica nos permite evidenciar la distribución de los valores en la recta normal. Como se muestra en la Figura 20 muestra la tendencia de los resultados sigue la recta normal (línea roja) para los datos de la eficiencia de producción del hidrocarbón.

## Figura 20

Gráfica de la normalidad de eficiencia de producción de hidrocarbón

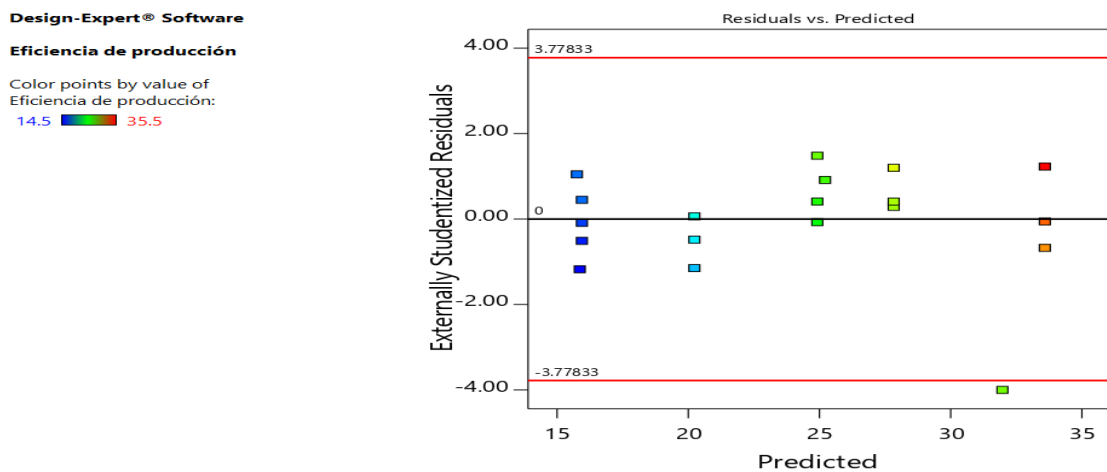


### b. Homogeneidad de la varianza

En la Figura 21 se grafican los residuales contra los valores ajustados para los datos del % producción de hidrocarbón. Las distribuciones de los resultados no presentan una tendencia, la varianza de las observaciones no se incrementa cuando la magnitud de la observación se incrementa. Por lo tanto, no es el caso si el error o ruido de fondo del experimento fuera un porcentaje constante de la magnitud de la observación.

## Figura 21

Homogeneidad de la varianza de eficiencia de producción de hidrocarbón



### c. Análisis de la varianza (ANOVA)

En la Tabla 12 se observa el análisis ANOVA para los valores medios. Se calcularon la suma de cuadrados, la varianza, el valor F, la P y la tasa de contribución porcentual (PCR) para los dos factores estudiados en los productos carbonosos. En los dos casos, los valores más altos estuvieron relacionados con la temperatura. Con base en los resultados de los tipos de valores medios que se determinó el rol de cada factor y con base en ello se determinó el ranking y niveles óptimos de los factores. Los resultados de clasificación y nivel óptimo de cada uno de los cuatro factores considerados para la eficiencia de producción se dan en la Tabla 12, mismo que muestra que la temperatura y tiempo tienen un efecto significativo.

**Tabla 12**

*Matriz ANOVA la eficiencia de producción (%) de hidrocarbón a diferentes temperaturas y tiempos de carbonización.*

Parámetro	Suma de cuadrados	df	Media	F-value	p-value
Model	758,66	5	151,73	43,77	0,001
A-Tiempo	119,36	1	119,36	34,43	0,001
B- Temperatura	568,99	1	568,99	164,12	0,001
AB	1,64	1	1,64	0,47	0,504
A <sup>2</sup>	24,38	1	24,38	7,03	0,019
B <sup>2</sup>	4,66	1	4,66	1,34	0,267
Residual	45,07	13	3,47		
Lack of Fit	33,10	3	11,03	9,22	0,0032
Pure Error	11,97	10	1,20		
Cor Total	803,73	18			

La ecuación del modelo de eficiencia de producción del hidrocarbón es la siguiente:

$$\text{Eficiencia de producción} = +24.92 - 2.51A - 6.31B + 0.3692AB - 1.26A^2 + 0.7460B^2$$

Donde:

$A = \text{Tiempo}$

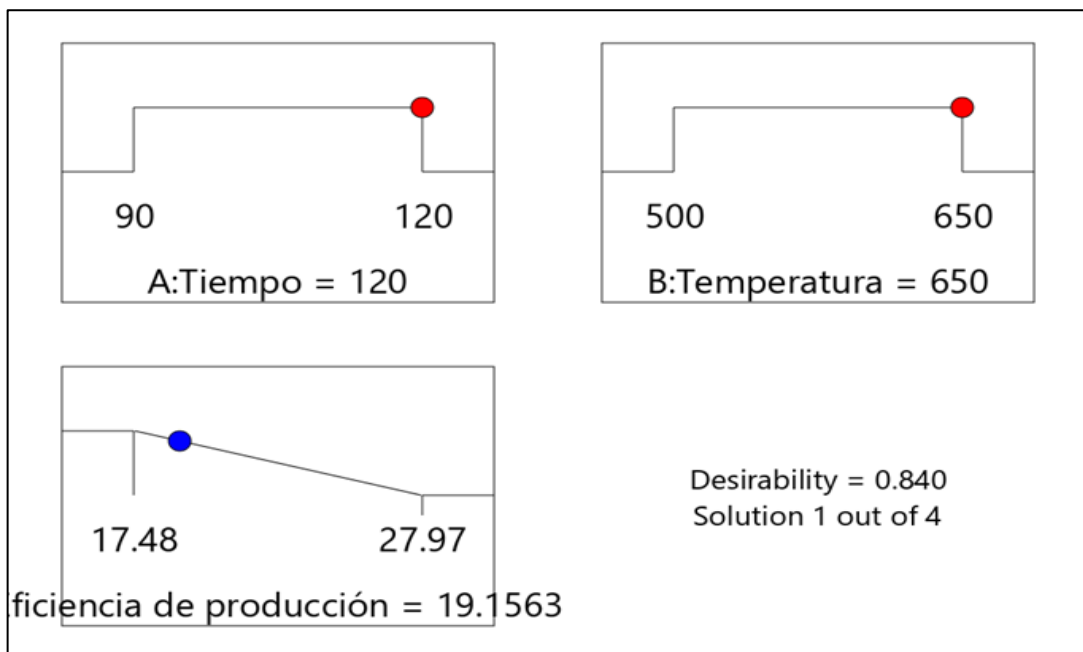
$B = \text{Temperatura}$

### 5.2.3. Resultados de optimización

Luego de obtenido la significancia de los parámetros de respuesta, se planteó la función de deseabilidad para optimizar las respuestas múltiples. Esta función de deseabilidad permite condicionar las diferentes variables para obtener un resultado óptimo de acuerdo a los modelos de ajustes obtenidos. Para los indicadores como temperatura y tiempo tienen un efecto significativo sobre la eficiencia. La Figura 22 y la Figura 23 muestran el modelo optimizado de la eficiencia óptima, para la producción de hidrocarbón es de 19.16% con un tiempo de 120 horas y una temperatura de 650°C. Para el biocarbón el óptimo va en un tiempo de 250 min y temperatura de 258.9°C a una eficiencia de producción de biocarbón 21.02%.

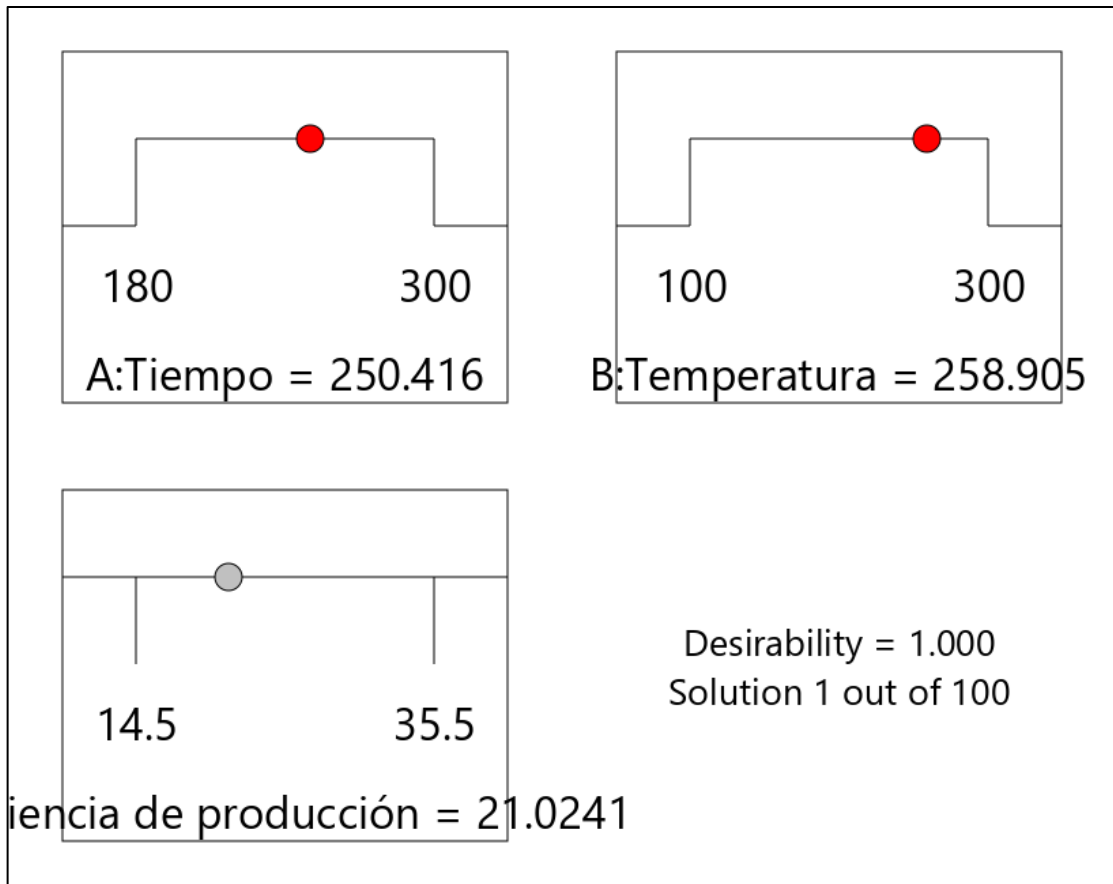
**Figura 22.**

*Optimización de la eficiencia de producción del hidrocarbón*



**Figura 23**

*Optimización de la eficiencia de producción del biocarbón*



#### **5.2.4. Resultados inferenciales del hidrocarbón óptimo y biocarbon óptimo**

##### **a. Prueba T-student**

Se ha desarrollado la prueba t-student donde se comparará la diferencia significativa de las características físico-químicas entre el biocarbón y el hidrocarbón óptimo producido. En la Tabla 13 muestra una diferencia significativa entre todos los parámetros fisicoquímicos entre el biocarbón e hidrocarbón como ceniza, nitrógeno, fosforo, potasio, humedad, relación H:C<sub>org</sub>, mientras que en el C<sub>org</sub> no hay diferencia significativa.

**Tabla 13***Prueba de T-student entre el biocarbón e hidrocarbón*

		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)
Cenizas	Se asumen varianzas iguales	3,52	0,13	18,31	4,00	0,00
	No se asumen varianzas iguales			18,31	2,84	0,00
Nitrogeno	Se asumen varianzas iguales	1,08	0,36	-5,03	4,00	0,01
	No se asumen varianzas iguales			-5,03	2,68	0,02
Fosforo	Se asumen varianzas iguales	1,33	0,31	13,68	4,00	0,00
	No se asumen varianzas iguales			13,68	3,11	0,00
Potasio	Se asumen varianzas iguales	0,32	0,60	7,57	4,00	0,00
	No se asumen varianzas iguales			7,57	3,76	0,00
Humedad	Se asumen varianzas iguales	5,25	0,08	-6,73	4,00	0,00
	No se asumen varianzas iguales			-6,73	2,07	0,02
C <sub>org</sub>	Se asumen varianzas iguales	0,04	0,85	0,84	4,00	0,45
	No se asumen varianzas iguales			0,84	3,99	0,45
H:C <sub>org</sub>	Se asumen varianzas iguales	7,24	0,05	-6,38	4,00	0,00
	No se asumen varianzas iguales			-6,38	2,04	0,02

### 5.3. Otro tipo de resultados estadísticos, de acuerdo a la naturaleza del problema y la hipótesis.

Debido a la naturaleza de nuestra investigación, no fue necesario utilizar datos estadísticos u otros métodos similares, por lo que no se generaron resultados estadísticos.

## VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

#### Hipótesis general

Esta investigación planteó como hipótesis general:

***H<sub>1</sub>***: La producción de hidrocarbón y biocarbón permite significativamente la optimización de las propiedades básicas de residuos semisólidos de la industria pesquera, Tambo de Mora – Chincha, 2024.

***H<sub>0</sub>***: La producción de hidrocarbón y biocarbón no permite significativamente la optimización de las propiedades básicas de residuos semisólidos de la industria pesquera, Tambo de Mora – Chincha, 2024.

Para demostrar o dar por afirmado la demostración de la hipótesis general, se manifiesta el método hipotético-deductivo usado en esta investigación, este método permite demostrar que, si las hipótesis específicas son afirmativas, por deducción lógica también se afirma la demostración de la hipótesis general.

De las 3 hipótesis específicas planteadas todas son hipótesis confirmadas, por lo tanto, se puede afirmar que la producción de hidrocarbón y biocarbón permite significativamente la optimización de las propiedades básicas de residuos semisólidos de la industria pesquera. Aceptando la hipótesis alternativa y rechazando la hipótesis nula.

#### Hipótesis específica 1

***H<sub>0</sub>***: *No existe una producción más eficiente significativa de hidrocarbón mediante la optimización de tiempo y la temperatura de pirólisis del proceso operacional.*

***H<sub>1</sub>***: *Existe una producción más eficiente significativa de hidrocarbón mediante la optimización de tiempo y la temperatura de pirólisis del proceso operacional.*

Se desarrolló la hipótesis específica 1 que implicaba que la eficiencia de producción de hidrocarbón está afectada por el tiempo y la temperatura es



significativo, el análisis se confirma cuantitativamente en la Tabla 12. El análisis de varianza (ANOVA) sobre el tiempo y la temperatura de producción tiene un efecto significativo en la eficiencia de producción con una significación es  $p < 0,05$ . De acuerdo a esto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

### **Hipótesis específica 2**

**H<sub>0</sub>:** *No existe una producción más eficiente significativa de biocarbón mediante la optimización de tiempo y la temperatura de pirólisis del proceso operacional.*

**H<sub>1</sub>:** *Existe una producción más eficiente significativa de biocarbón mediante la optimización de tiempo y la temperatura de pirólisis del proceso operacional.*

Se desarrolló la hipótesis específica 2 que implicaba que la eficiencia de producción está afectada por el tiempo y la temperatura es significativo, el análisis se confirma cuantitativamente en la Tabla 11. El análisis de varianza (ANOVA) sobre el tiempo y la temperatura de producción tiene un efecto significativo en la eficiencia de producción con una significación es  $p < 0,05$ . De acuerdo a esto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

### **Hipótesis específica 3**

**H<sub>0</sub>:** *No existe una diferencia significativa entre las propiedades básicas en la producción óptima de hidrocarbón y biocarbón.*

**H<sub>1</sub>:** *Existe una diferencia significativa entre las propiedades básicas en la producción óptima de hidrocarbón y biocarbón.*

Se desarrolló la hipótesis específica 3 que implicaba la comparación estadística de las características fisicoquímicas del biocarbón e hidrocarbón producido. El Análisis T-student muestra que existe una variación significativa entre ambos materiales carbonosos como se muestra en la Tabla 13 con una significación es  $p < 0,05$ . De acuerdo a esto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

## 6.2. Contrastación de los resultados con estudios similares

Se llevó a cabo la determinación de la eficiencia de producción óptima del hidrocarbón y biocarbón a través de la experimentación y posterior uso del software dando como resultado una eficiencia de producción para el hidrocarbón del 19.1563 % en condiciones de una temperatura a 650 °C y un tiempo de residencia de 250.416 min, y una eficiencia de producción del 21.0241% para el biocarbón a una temperatura de 650° C con un tiempo de 120 min de residencia, resultando nuestro tratamiento semejante que la investigación de (Rojas, 2021) en cuanto a la capacidad de adsorción (de antibióticos sulfonamidas) del hidrocarbón (82,2 µg/g y 85,7 µg/g) es superada por el biocarbon (121,5 µg/g y 130,1 µg/g) obtenidos de posos de café (producto de desecho de la preparación del café).

En la caracterización de biocarbon se tuvo como resultado  $C_{org}$  de 21.07%, 21.22% y 21.68%, y en la caracterización de hidrocarbón se tuvo 21.08%, 21.43% y 20.82% de  $C_{org}$  denotando similares grados de carbonización, lo cual difiere de los resultados de (Ercan et al., 2023) es su estudio de producción de biocarbon e hidrocarbón a partir de bioamasa lignocelulósica demuestra que el biocarbon obtenido del proceso de pirólisis es mayor al hidrocarbón producido del proceso de HTC.

La investigación realizada por (Fu et al, 2023) del análisis de residuos almenicios comunes (cáscara de huevo, desechos de pescado, pan rallado, arroz cocido y una mezcla de residuos alimenticios) determinó los hidrocarbones producidos ( $\leq 300$  °C) presentaron grupos funcionales similares a los hidrocarbones producidos ( $\geq 400$ °C), lo propio en la presente investigación por medio del análisis de espectroscopia infrarroja (FTIR-ATR) se identificó grupos funcionales similares y correspondientes en un hidrocarbón y biocarbón.

Los análisis de (Zhang et al., 2023) a partir de lodos de agua dulce, revelan que el biocarbon posee una estabilidad de carbono superior y podría ser más adecuado para la captura de carbono, mientras que el hidrocarbón exhibe estructuras de carbono menos estables, mientras que en nuestro estudio ambos productos exhiben estabilidad, pero con una mejor % transmitancia el biocarbon.

Los enlaces entre estructuras aromáticas de C-O y C-H gobiernan la estabilidad del biocarbón.

### **6.3. Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes**

Los autores de esta tesis reconocen la importancia primordial de la ética en la investigación científica y se comprometen a adherirse a los más altos estándares éticos en todas las etapas del proceso investigativo. En este sentido, se comprometen a garantizar la integridad, la honestidad y la transparencia en todas las actividades llevadas a cabo en el marco de la tesis titulada ““PRODUCCIÓN DE HIDROCARBÓN Y BIOCARBÓN PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES BÁSICAS DE RESIDUOS SEMISÓLIDOS DE LA INDUSTRIA PESQUERA, TAMBO DE MORA - CHINCHA, 2024” confirman su responsabilidad ética bajo el cumplimiento estricto del marco conductual dentro del desarrollo de la investigación, sus procesos, procedimientos y actividades enmarcados en el código de ética de la investigación de la UNAC, aprobado con la Resolución de Consejo Universitario N° 260-2019-CU.”

Finalmente, se ha realizado una completa y transparente comunicación de los resultados obtenidos, asegurando la honestidad y la imparcialidad en la interpretación de los mismos. Se han reconocido y citado adecuadamente todas las fuentes utilizadas y se ha evitado cualquier forma de plagio o fraude científico.

En resumen, los autores de esta tesis se comprometen a realizar su investigación de manera ética y responsable, asegurando el respeto por los principios fundamentales de la ética en la investigación científica y contribuyendo así al avance del conocimiento de manera honesta y confiable.

.

## VII. CONCLUSIONES

En esta investigación se pudo evaluar en qué medida la producción de hidrocarbón y biocarbón permite la optimización de las propiedades básicas de residuos semisólidos de la industria pesquera, Tambo de Mora – Chincha, 2024. Los resultados demostraron un alto grado de ceniza en el biocarbón que en el hidrocarbón. De igual manera el hidrocarbón presenta un bajo nivel de fósforo en comparación con el biocarbón. El hidrocarbón presenta mayor contenido de humedad y relación Hidrogeno Carbono orgánico en comparación con el biocarbón. Se ha mantenido el carbono orgánico en ambos procesos.

Se determinó la producción más eficiente de hidrocarbón mediante la optimización de tiempo y la temperatura de carbonización hidrotermal del proceso operacional. Los resultados mostraron que el tiempo de producción y la temperatura tuvieron un efecto significativo en la eficiencia del hidrocarbón. El modelo optimizado de la eficiencia óptima para la producción de hidrocarbón fue 19.16% con un tiempo de 120 horas a una temperatura 650°C.

Se determinó la producción más eficiente de biocarbón mediante la optimización de tiempo y la temperatura de pirólisis del proceso operacional. Los resultados mostraron que el tiempo de producción y la temperatura tuvieron un efecto significativo en la eficiencia del biocarbón ( $p < 0.05$ ). El modelo optimizado de la eficiencia óptima para la producción de biocarbón es en un tiempo de 250 min y una temperatura de 258.9°C a una producción de biocarbón 21.02%.

Se logró comparar las propiedades básicas en la producción óptima de hidrocarbón y biocarbón. Los resultados del T-student mostraron que existe una diferencia significativa entre las propiedades básicas del biocarbón, hidrocarbón el lodo residual con  $p < 0.05$ , con excepción del  $C_{org}$ .

## VIII. RECOMENDACIONES

A pesar de los resultados prometedores obtenidos en este estudio, se recomienda llevar a cabo investigaciones adicionales para ampliar el conocimiento sobre el efecto del carbón hidrotermal en las propiedades fisicoquímicas del suelo. Estos estudios podrían considerar diferentes dosificaciones, variaciones de temperatura de 180°C a 230°C en la elaboración del carbón hidrotermal, diversas fuentes de carbono obtenidas, evaluar la persistencia de los efectos a largo plazo y examinar otros parámetros relevantes para la salud y la productividad del suelo.

Para comprender mejor la aplicabilidad y generalización de los resultados, se sugiere realizar investigaciones de aplicación en diferentes zonas geográficas con distintas características de suelo y condiciones ambientales. Esto permitirá determinar la efectividad del carbón hidrotermal y del biocarbón en diversas situaciones, y ampliar su potencial uso en la restauración de suelos en diferentes regiones.

Además de evaluar las propiedades básicas del carbón hidrotermal y el biocarbón, es importante considerar la viabilidad económica y ambiental de su producción y aplicación a gran escala. Se recomienda realizar estudios de costo-beneficio y análisis de ciclo de vida para evaluar la sostenibilidad y la viabilidad económica de esta enmienda orgánica.

Se recomienda que las instituciones públicas como las municipalidades relacionadas con el uso de materiales carbonosos jueguen un papel crucial en su desarrollo y promoción de estos productos. Esto incluye instituciones de investigación y desarrollo, agencias de energía y medio ambiente, gestión de recursos naturales, planificación urbana, promoción de inversiones y desarrollo económico, así como educación y concienciación pública. De igual forma para las industria pesqueras con resultados prometedores para su escalamiento.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÁLVAREZ, J. [et al]., 2023. Combined electrocoagulation and electrooxidation treatment system for real effluents from the fishing industry. *Heliyon*, 9(4), e14906. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14906>

ÁLVAREZ Vargas, S. E. (2021). *Evaluación de la calidad del biocarbón producido a través de restos de podas de tres especies forestales en fundación “La Iguana” ubicado en el cantón Guayaquil provincia del Guayas.*

APEÑA Milla, D. E., & CASTELO VEGA, S. A. (2022). *Biocarbon de lodos para la inmovilización del plomo en suelos del AA. HH. Virgen de Guadalupe, Mi Perú, 2022.*

AQUIJE Camila, M. A. y W. L. M.-B. (2022). *Preguntas frecuentes.* International Biochar Initiative.

BARRACO MASTRANGELO, J. M., & CAPANDEGUY ISTEBOU, P. M. (2022). *Carbonización hidrotermal de la gallinaza y caracterización del producto obtenido.*

BUSTAMANTE, G. K. D. C. V. E. S. (2023). *Pirólisis de lodos residuales de acuicultura y calidad del biocarbón como enmienda de suelo, Paríamarca, Canta-Lima.* 154.

CAI, C., [et al]., 2021. Sustainable disposal of excess sludge: post-thermal hydrolysis for anaerobically digested sludge. *Journal of Cleaner Production*, 321, 128893.

CARDOSO, L., [et al]., 2003. Manejo de lodos residuales en México. *XXVII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.*(3-8, Diciembre: Brasil). *Memorias. Puerto Alegre, Brasil*, 1–7.

CAVALI, M., [et al]., 2023. Co-hydrothermal carbonization of pine residual sawdust and non-dewatered sewage sludge – effect of reaction conditions on hydrochar characteristics. *Journal of Environmental Management*, 340, 117994. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117994>

CAVALI, M., [et al]., 2022. Biochar and hydrochar in the context of anaerobic digestion for a circular approach: An overview. *Science of The Total*

*Environment*, 822, 153614.

CAVALI, M., [et al]., 2023. A review on hydrothermal carbonization of potential biomass wastes, characterization and environmental applications of hydrochar, and biorefinery perspectives of the process. *Science of The Total Environment*, 857, 159627.

CEUPE. (2019). ¿Qué es la pirólisis? *CEUPE Magazine*.  
<https://www.ceupe.com/blog/que-es-la-pirolisis.html>

CHÁVEZ ALCÁZAR, R. (2021). *Aplicación de un biocarbón obtenido de lodos de aguas residuales como soporte de nanoestructuras núcleo-coraza Ni@ Pt para promover las reacciones de evolución y de reducción de oxígeno*. Tesis (MC)--Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN Unidad ....

CHOWDHURY, P., VIRARAGHAVAN, T., & SRINIVASAN, A. (2010). Biological treatment processes for fish processing wastewater—A review. *Bioresource Technology*, 101(2), 439–449.

CONGONA CHALCO, E. A., & LIMACHE RAMIREZ, A. H. (2022). *Estudio comparativo de la adsorción del biocarbón y carbón modificado por activación en los derrames de petróleo marítimos: revisión sistemática*.

DE LA FEDERACIÓN, O. (n.d.). *NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-004-SEMARNAT-2002, PROTECCION AMBIENTAL-LODOS Y BIOSOLIDOS-ESPECIFICACIONES Y LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA SU APROVECHAMIENTO Y DISPOSICION FINAL INDICE*.

DEFINITION, P. (2015). *Specification Standards: Standardized Product Definition and Product Testing Guidelines for Biochar That Is Used in Soil (aka IBI Biochar Standards)*. Version.

DHANKE, P., WAGH, S., & PATIL, A. (2019). Treatment of fish processing industry wastewater using hydrodynamic cavitational reactor with biodegradability improvement. *Water Science and Technology*, 80(12), 2310–2319.

DIAZ AGÜERO, J. A., & PÉREZ PÉREZ, M. A. (2021). *Biochar de lodos de una planta de tratamiento de aguas residuales para remediar suelos*

*contaminados con hidrocarburos en Huachipa, 2021.*

DIAZ PIRAQUIVE, F. N. (2019). *TÍTULO: Incorporación de máquinas recubridora y cortadora de bobinas al sistema de gestión de cladiad de la empresa Grupo SASA. AUTOR (ES): Varon Melo, Daniel.*

ECONOMIPEDIA. (2019). Producción. *Economipedia*.  
<https://economipedia.com/definiciones/produccion.html>

ECONOMIPEDIA. (2020). Parametro. *Economipedia*.  
<https://economipedia.com/definiciones/parametro.html>

RUS ARIAS, Enrique, (2020). Parámetro. *Economipedia*.  
<https://economipedia.com/definiciones/parametro.html>

ESCALANTE REBOLLEDO, A., [et al]., 2016. Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoamericana*, 34(3), 367–382.

FANG, Q., [et al]., (2021). Application of layered double hydroxide-biochar composites in wastewater treatment: Recent trends, modification strategies, and outlook. *Journal of Hazardous Materials*, 420, 126569.

Federico J. Caballero Ferrari. (2007). Industria. *Economipedia*.

FUNKE, A., & ZIEGLER, F. (2010). Hydrothermal carbonization of biomass: A summary and discussion of chemical mechanisms for process engineering. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 4(2), 160–177.

GAMBOA ROMERO, J. L. (2021). *Producción y aplicación de biocarbón a partir de biomasa residual para mejorar la calidad de suelos agrícolas. Revisión sistemática, 2020.*

GARCÍA-SIFUENTES, C. O., [et al]., 2009. Impacto del agua de cola de la industria pesquera: tratamientos y usos Impact of stickwater produced by the fishery industry: treatment and uses. *CyTA–Journal of Food*, 7(1), 67–77.

GARGIULO, V., [et al]., 2018. Assessing the potential of biochars prepared by steam-assisted slow pyrolysis for CO<sub>2</sub> adsorption and separation. *Energy & Fuels*, 32(10), 10218–10227.

GHERGHEL, A., TEODOSIU, C., & DE GISI, S. (2019). A review on



wastewater sludge valorisation and its challenges in the context of circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 228, 244–263.

HERNÁNDEZ, A. B., [et al.], 2015. La metodología de Taguchi en el control estadístico de la calidad. *Revista de La Escuela de Perfeccionamiento En Investigación Operativa*, 23(37).

HERNÁNDEZ SAMPIERI, R., [et al.], 2014. *Metodología de la Investigación* (McGRAW-HILL (ed.); Sexta).

HIDALGO, F. K., & VÉLEZ, M. N. (2001). *La industria pesquera en el Perú*. Univ. de Lima, Fondo de Desarrollo Ed.

HUANG, Y. F., [et al.], 2013. Pyrolysis kinetics of biomass from product information. *Applied Energy*, 110, 1–8.

INDEED. (2023). Qué es la industria pesquera. *Indeed Orientacion Profesional*. <https://mx.indeed.com/orientacion-profesional/como-encontrar-empleo/industria-pesquera-que-es>

INFINITIA. (2022). ¿Qué son las propiedades básicas en los procesos de fabricación? <https://www.infinitiaresearch.com/noticias/que-son-parametros-de-calidad-en-procesos-de-fabricacion/#:~:text=¿Qué son las propiedades básicas y cuál es su,la satisfacción de los usuarios.>

INTERNATIONAL BIOCHAR INITIATIVE. (2023). *El biocarbón sostenible es una herramienta poderosamente simple para luchar contra el calentamiento global*. <https://biochar-international.org/>

ISO. (1994). *Calidad*. <https://www.paripassu.com.br/es/blog/conceptos-de-calidad>

KABAKCI, S. B., & BARAN, S. S. (2019). Hydrothermal carbonization of various lignocellulosics: Fuel characteristics of hydrochars and surface characteristics of activated hydrochars. *Waste Management*, 100, 259–268.

KURT ALEXANDER, E. J., & MOLINA CEDEÑO, C. D. (2019). *Empleo de microorganismos eficientes (biopreparado) en remoción del DBO5 y DQO de lodos residuales de industrias pesqueras, con base en compostaje*. Calceta: ESPAM MFL.

KUSHWAHA, J. P. (2015). A review on sugar industry wastewater: sources, treatment technologies, and reuse. *Desalination and Water Treatment*, 53(2), 309–318.

LÓPEZ-ANCHUNDIA, E., MORALES-PAREDES, E., & ALVARADO-ZAMBRANO, S. (2019). Aspectos biológicos en la digestión anaerobia de las aguas residuales de la industria pesquera. *Revista de Ciencias Del Mar y Acuicultura YAKU. ISSN: 2600-5824.*, 2(4), 20–27.

MADRID MADRID, J. L. (2020). *Propuesta para mejorar el sistema de tratamiento de las aguas residuales industriales y reducir los niveles de contaminantes en la empresa industrial pesquera Santa Mónica SA Paita.*

MARTÍ, C., [et al]., 1994. Recovery of proteins from fishmeal factory wastewaters. *Process Biochemistry*, 29(1), 39–46.

MAŠEK, O., [et al]., 2013. Microwave and slow pyrolysis biochar—Comparison of physical and functional properties. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 100, 41–48.

ÑAUPAS. (2020). *Metodología de la Investigación.* [http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales\\_de\\_consulta/Drogas\\_de\\_Abuso/Articulos/MetodologiaInvestigacionNaupas.pdf](http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales_de_consulta/Drogas_de_Abuso/Articulos/MetodologiaInvestigacionNaupas.pdf)

PARK, H. J., [et al]., 2008. Effects of the operating parameters on the production of bio-oil in the fast pyrolysis of Japanese larch. *Chemical Engineering Journal*, 143(1–3), 124–132.

PARSHETTI, G. K., CHOWDHURY, S., & BALASUBRAMANIAN, R. (2014). Hydrothermal conversion of urban food waste to chars for removal of textile dyes from contaminated waters. *Bioresource Technology*, 161, 310–319.

PENADILLO LIRIO, R. A., [et al]., 2023. *pérezpere Tutoría virtual en la calidad de los proyectos de tesis de doctorado en educación en la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.*

PÉREZ-CABRERA, C. A., [et al]., 2021. Chemical characterization of biochar from sugarcane tips produced by hydrothermal carbonization and addition of organic catalysts. *Terra Latinoamericana*, 39.

PONCE BALLESTER, E. (2013). *El proceso de carbonización hidrotermal aplicado a la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos*.

PRODUCE, J. (2016). *Anuario estadístico pesquero y acuícola 2015*. Ministerio de la Producción.

RAJEC, P., [et al.], 2016. Sorption and desorption of pertechnetate on biochar under static batch and dynamic conditions. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 310, 253–261.

RAMÍREZ MADRIZ, F. (2022). *Uso del hidrocarbón generado en la carbonización hidrotérmica de desechos de café como catalizador para la remoción de contaminantes emergentes mediante ozonización catalítica*.

RINCÓN CARREÑO, L. N. (2019). *Aprovechamiento de los lodos de planta de tratamiento de aguas residuales en empresa láctea, municipio de Cogua*. Fundación Universidad de América.

ROBINSON, A. L., RHODES, J. S., & KEITH, D. W. (2003). Assessment of potential carbon dioxide reductions *due to biomass – coal cofiring in the United States*. ACS Publications.

RUIZ PEREZ, K. E. (2019). *El biocarbón y su uso en la recuperación de suelos áridos*.

SÁNCHEZ, G., [et al.], 2021. Evaluación del potencial de lodos orgánicos carbonizados de una planta de tratamiento de aguas residuales para el mejoramiento de suelos. *Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología–APANAC*, 292–299.

SEGURA-CHAVARRÍA, D. M. (2018). *Control de calidad de biocarbón para la producción de Terra Preta*.

SHARMA, M., [et al.], 2019). A comprehensive review of renewable energy production from biomass-derived bio-oil. *BioTechnologia. Journal of Biotechnology Computational Biology and Bionanotechnology*, 100(2).

TENORIO, A. F. E. Y., & CAMINO, V. (2018). PROCESOS DE PRODUCCIÓN Y APLICACIONES DEL BIOCARBÓN. *Memoria Congreso Internacional de*

*Investigación e Innovación Multidisciplinario.*

TRIPATHI, M., SAHU, J. N., & GANESAN, P. (2016). Effect of process parameters on production of biochar from biomass waste through pyrolysis: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 467–481.

Vivienda. (2018). *Resolución N° 093-2018-VIVIENDA — Protocolo de Monitoreo de Biosólidos*. <https://www.fao.org/faolex/results/details/es/c/LEX-FAOC177818/>

WANG, J., [et al.], 2023. Enhancing nitrogen removal from sludge-derived hydrochar via hydrothermal carbonization fortified with advanced oxidation process pretreatment. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 174, 106132. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jaap.2023.106132>

ZEGARRA VERA, G. J. (2022). *Revisión sistemática: Obtención de biocarbón a partir de residuos agrícolas para la adsorción de metales pesados en aguas residuales industriales*.

ZHANG, B., 2023. Sewage sludge valorisation by hydrothermal carbonization: A new method to enhance nitrogen removal in hydrochar catalyzed with Ni–Mg–Al layered double oxides. *Journal of Cleaner Production*, 386, 135880.

ZHANG, W.-H., [et al.], 2020. Understanding the role of cellulose fiber on the dewaterability of simulated pulp and paper mill sludge. *Science of The Total Environment*, 702, 134376.

ZHONG, J., [et al.], 2023. Improved solid/liquid separation performance of hydrochar from sludge via hydrothermal carbonization. *Journal of Environmental Management*, 347, 119182. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119182>

## ANEXOS

### Anexo 1- Matriz de consistencia

PRODUCCIÓN DE HIDROCARBÓN Y BIOCARBÓN PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES BÁSICAS DE RESIDUOS SEMISÓLIDOS DE LA INDUSTRIA PESQUERA, TAMBO DE MORA - CHINCHA, 2024										
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	INDICE/ITEM	MÉTODO	TÉCNICA
¿En qué medida la producción de hidrocarbón y biocarbón permite la optimización de las propiedades básicas de residuos semisólidos de la industria pesquera, Tambo de Mora - Chincha, 2024?	Evaluar en qué medida la producción de hidrocarbón y biocarbón permite la optimización de las propiedades básicas de residuos semisólidos de la industria pesquera, Tambo de Mora - Chincha, 2024	La producción de hidrocarbón y biocarbón permiten significativamente la optimización de las propiedades básicas de residuos semisólidos de la industria pesquera, Tambo de Mora - Chincha, 2024	<b>Independiente:</b> Producción de Hidrocarbón y Biocarbón	La producción de hidrocarbón y biocarbón a partir de residuos semisólidos de la industria pesquera es un proceso innovador que convierte desechos orgánicos en recursos valiosos. Los residuos semisólidos generados por esta industria, que incluyen restos de pescado, vísceras y otros subproductos, son transformados mediante técnicas de conversión como la pirólisis o la carbonización (Buscaglia & Rodríguez, 2002).	La producción de hidrocarbón y biocarbón se define como la creación de materiales carbonos que se producen por condiciones de escasas de oxígeno a ciertas condiciones de temperatura y tiempo de carbonización.	Hidrocarbón	60 min 90 min	min	Hipotético - Deductivo	Observación experimental
							100 °C 300 °C	°C		
						Biocarbón	60 min 120 min	min		
							300 °C 700 °C	°C		
PROBLEMA ESPECÍFICO	OBJETIVO ESPECÍFICO	HIPÓTESIS ESPECÍFICO	VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSION	INDICADORES	INDICE/ITEM		POBLACIÓN Y MUESTRA
¿Cuál será la producción más eficiente de hidrocarbón mediante la optimización de tiempo y la temperatura de carbonización hidrotermal del proceso operacional?	Determinar la producción más eficiente de hidrocarbón mediante la optimización de tiempo y la temperatura de carbonización hidrotermal del proceso operacional	Existe una producción más eficiente significativa de hidrocarbón mediante la optimización de tiempo y la temperatura de pirólisis del proceso operacional.		La optimización de las propiedades básicas de residuos semisólidos de la industria pesquera implica mejorar las características fundamentales de estos desechos, como su composición, textura y contenido de humedad, para maximizar su valor y funcionalidad en aplicaciones industriales y medioambientales (Escalante et al., 2016).	La optimización de las propiedades básicas se medirá en función de las propiedades fisicoquímicas de los materiales carbonosos.	Eficiencia de producción	Cantidad de producción	g	Hipotético - Deductivo	Población: Aproximadamente, se producen 725.990 toneladas de biosólidos en un año promedio el cual consta de dos temporadas, durante la I Temporada la cual corresponde a los meses de Abril, Mayo y Junio; y en la II Temporada durante los meses de Noviembre, Diciembre y Enero
							Cantidad de producción de material carbonosos	%		
							Carbono Orgánico	%		
¿Cuál será producción más eficiente de biocarbón mediante la optimización de tiempo y la temperatura de pirólisis del proceso operacional?	Determinar la producción más eficiente de biocarbón mediante la optimización de tiempo y la temperatura de pirólisis del proceso operacional	Existe una producción más eficiente significativa de biocarbón mediante la optimización de tiempo y la temperatura de pirólisis del proceso operacional.	<b>Dependiente:</b> Optimización de las propiedades básicas			Propiedades fisicoquímicas	Relación H:C (orgánico)	Sin unidad	Hipotético - Deductivo	Muestra: total de 20 kg de lodos residuales de la industria pesquera.
¿Cuáles serán las diferencias de las propiedades básicas en la producción óptima de hidrocarbón y biocarbón?	Comparar las propiedades básicas en la producción óptima de hidrocarbón y biocarbón	Existe una diferencia significativa entre de las propiedades básicas en la producción óptima de hidrocarbón y biocarbón					N, P, K	%		
							Humedad	%		

## Anexo 2- Instrumentos validados

### Eficiencia de Producción del Hidrocarbón

<b>Tratamiento</b>	<b>A: Tiempo (min)</b>	<b>B: Temperatura (°C)</b>	<b>Peso (gr)</b>	<b>Eficiencia de producción (%)</b>
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				

**Eficiencia de Producción del Biocarbón**

<b>Tratamiento</b>	<b>A: Tiempo (min)</b>	<b>B: Temperatura (°C)</b>	<b>Peso (gr)</b>	<b>Eficiencia de producción (%)</b>
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				

**Propiedades básicas de los lodos residuales, hidrocarbón y biocarbón**

Muestras	Cenizas	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Humedad	C <sub>org</sub>	Relación H:C
	%	%	%	%	%	%	
Lodos							
Pesquera							
Biocarbón (Réplica 1)							
Biocarbón (Réplica 2)							
Biocarbón (Réplica 3)							
Hidrocarbón (Réplica 1)							
Hidrocarbón (Réplica 2)							
Hidrocarbón (Réplica 3)							



## INFORME DE JUICIO DE EXPERTO DEL INSTRUMENTO DE MEDICIÓN

### I.- DATOS GENERALES

APellidos y nombres del validador: MILLA FIGUEROA AMERICO CARLOS

Nivel de grado: MAESTRO

Especialidad: GESTION AMBIENTAL

Institución donde labora: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO


Instrumentos de evaluación: EQUIPO DE ANALISIS Y REPORTE DE ANALISIS PARA LA EFICIENCIA DE PRODUCCION DE HIDROCARBON Y BIOCARBON, Y SUS PROPIEDADES BASICAS A PARTIR DE LODOS RESIDUALES SEMISOLIDOS DE LA INDUSTRIA PESQUERA, TAMBO DE MORA-CHINCHA 2024.

Autor: BACH. JERSON JOHNATAN VALIENTE TERRONES, BACH. RONALD JULIAN GOMEZ ESTACIO, BACH. LOURDES HERLINDA VALERIO BOBADILLA.

### II.- ASPECTOS DE VALIDACIÓN:

Luego de verificar la información, puedo formular las siguientes apreciaciones.

INDICADORES	Criterios	Valores			
		1	2	3	4
Claridad	Esta formulada con lenguaje apropiado				X
Objetividad	Esta expresado con conductas observables			X	
Actualidad	Adecuado al avance de la ciencia y la tecnología			X	
Organización	Existe una organización lógica entre variable e indicadores				X
Suficiencia	Comprende los aspectos de calidad y cantidad			X	
Intencionalidad	Adecuado para valorar aspectos de la inteligencia emocional			X	
Consistencia	Consistencia entre la formulación de problema, objetivo e hipótesis				X
Coherencia	De indicadores y dimensiones				X
Metodología	La estrategia responde al propósito de la investigación			X	
1=Deficiente (0% - 25%) 2= Regular (26% - 50%) 3= Bueno (51% - 75%) 4= Muy bueno (76% -100%)					
Aspecto de valorización					
El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación <input checked="" type="checkbox"/>		El instrumento NO cumple con los requisitos para su aplicación <input type="checkbox"/>			
Promedio de valorización = 18					
Observaciones = Ninguna					

 FIRMA
DNI: 07949586
CIP: 109076

07 de marzo del 2024

1

## INFORME DE JUICIO DE EXPERTO DEL INSTRUMENTO DE MEDICIÓN

### I.- DATOS GENERALES

**APELLIDOS Y NOMBRES DEL VALILADOR:** MARIA PAULINA ALIAGA MARTINEZ

**NIVEL DE GRADO:** MAESTRIA EN CIENCIAS

**ESPECIALIDAD:** TRATAMIENTO DE AGUAS Y REUSO DE DESECHOS

**INSTITUCIÓN DONDE LABORA:** UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO


**INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN:** EQUIPO DE ANALISIS Y REPORTE DE ANALISIS PARA LA EFICIENCIA DE PRODUCCION DE HIDROCARBON Y BIOCARBON, Y SUS PROPIEDADES BASICAS A PARTIR DE LODOS RESIDUALES SEMISOLIDOS DE LA INDUSTRIA PESQUERA, TAMBO DE MORA-CHINCHA 2024.

**AUTOR:** BACH. JERSON JOHNATAN VALIENTE TERRONES, BACH. RONALD JULIAN GOMEZ ESTACIO, BACH. LOURDES HERLINDA VALERIO BOBADILLA.

### II.- ASPECTOS DE VALIDACIÓN:

Luego de verificar la información, puedo formular las siguientes apreciaciones.

INDICADORES	Criterios	Valores			
		1	2	3	4
Claridad	Esta formulada con lenguaje apropiado				x
Objetividad	Esta expresado con conductas observables				x
Actualidad	Adecuado al avance de la ciencia y la tecnología				x
Organización	Existe una organización lógica entre variable e indicadores				x
Suficiencia	Comprende los aspectos de calidad y cantidad				x
Intencionalidad	Adecuado para valorar aspectos de la inteligencia emocional				x
Consistencia	Consistencia entre la formulación de problema, objetivo e hipótesis				x
Coherencia	De indicadores y dimensiones				x
Metodología	La estrategia responde al propósito de la investigación				x
1=Deficiente (0% - 25%) 2= Regular (26% - 50%) 3= Bueno (51% - 75%) 4= Muy bueno (76% -100%)					
Aspecto de valorización					
El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación		<input checked="" type="checkbox"/>	El instrumento NO cumple con los requisitos para su aplicación		<input type="checkbox"/>
Promedio de valorización = 20					
Observaciones = Ninguna					



**FIRMA**

DNI: 08663264

CIP: 59443

Miércoles, 06 de marzo del 2024

## INFORME DE JUICIO DE EXPERTO DEL INSTRUMENTO DE MEDICIÓN

### I.- DATOS GENERALES

**APELLIDOS Y NOMBRES DEL VALILADOR:** MIGUEL ANGEL DE LA CRUZ ~~CRUZ~~

**NIVEL DE GRADO:** DOCTOR EN INGENIERIA AMBIENTAL

**ESPECIALIDAD:** FISICA Y DOCENCIA

**INSTITUCIÓN DONDE LABORA:** UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO


**INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN:** EQUIPO DE ANALISIS Y REPORTE DE ANALISIS PARA LA EFICIENCIA DE PRODUCCION DE HIDROCARBON Y BIOCARBON, Y SUS PROPIEDADES BASICAS A PARTIR DE LODOS RESIDUALES SEMISOLIDOS DE LA INDUSTRIA PESQUERA, TAMBO DE MORA-CHINCHA 2024.

**AUTOR:** BACH. JERSON JOHNATAN VALIENTE TERRONES, BACH. RONALD JULIAN GOMEZ ESTACIO, BACH. LOURDES HERLINDA VALERIO BOBADILLA.

### II.- ASPECTOS DE VALIDACIÓN:

Luego de verificar la información, puedo formular las siguientes apreciaciones.

INDICADORES	Criterios	Valores			
		1	2	3	4
Claridad	Esta formulada con lenguaje apropiado				x
Objetividad	Esta expresado con conductas observables				x
Actualidad	Adecuado al avance de la ciencia y la tecnología				x
Organización	Existe una organización lógica entre variable e indicadores				x
Suficiencia	Comprende los aspectos de calidad y cantidad				x
Intencionalidad	Adecuado para valorar aspectos de la inteligencia emocional				x
Consistencia	Consistencia entre la formulación de problema, objetivo e hipótesis				x
Coherencia	De indicadores y dimensiones				x
Metodología	La estrategia responde al propósito de la investigación				x
1=Deficiente (0% - 25%) 2= Regular (26% - 50%) 3= Bueno (51% - 75%) 4= Muy bueno (76% -100%)					
Aspecto de valorización					
El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación		<input checked="" type="checkbox"/>	El instrumento NO cumple con los requisitos para su aplicación		<input type="checkbox"/>
Promedio de valorización = 20					
Observaciones = Ninguna					



**FIRMA**

DNI: 40319005

CFP: 0359

Miércoles, 06 de marzo del 2024

3



**CERTIFICADO DE CALIBRACION N° 01-13-05/2024**

Fecha de emisión: 15-03-2024

1. **Solicitante** : RESISOL INGENIEROS S.A.C
2. **Dirección** : MZA. J LOTE. 3-A3 ASC. LOS TULIPANES DE CARAPONGO LIMA - LURIGANCHO
3. **Instrumento calibrado** : BALANZA PLATAFORMA
  - **Clase** : I
  - **Marca** : SF400
  - **Tipo** : Digital
  - **Capacidad Máxima** : 1000gr
  - **Div. De escala (d)** : 5gr
  - **Div. De verificación** : 5gr
  - **Rango de temperatura** : -10 °C a 40°C
4. **Lugar de Calibración** : INSTALACIONES DE LAN TRADING S.A
5. **Fecha de calibración** : 05-03-2024
6. **Fecha de próxima calibración:** 05-06-2024

**MÉTODO Y PATRONES DE MEDICIÓN USADOS**

Recomendación Internacional OIML R76-1 "INSTRUMENTOS DE PESAJE DE FUNCIONAMIENTO NO AUTOMÁTICO"  
Norma *Metrológica Peruana NMP 004-2007*, Utilizando Pesas Patrones con incertidumbre de medición de factor de cobertura  $K=2$ .

**CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura Inicial 19 °C  
Temperatura Final 21 °C

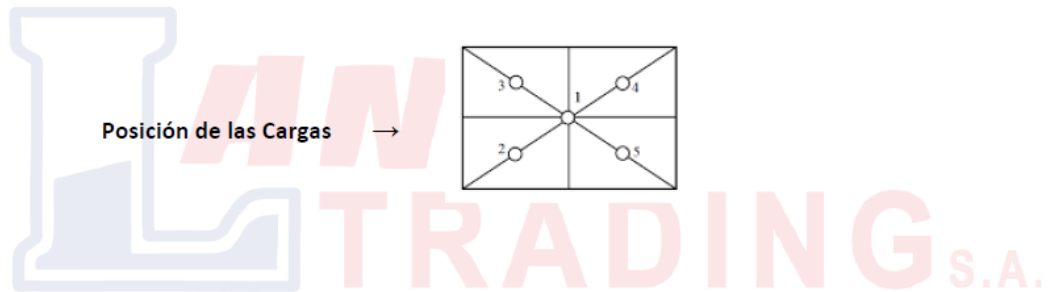
Los resultados del certificado son válidos solo para objeto calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto. Se recomienda al usuario recalibrar el instrumento a intervalos adecuados los cuales deben ser elegidos con base en las características del trabajo realizado, el mantenimiento, conservación, y el tiempo de uso del instrumento.

## 7. Resultados

### Inspección Visual

ESPECIFICACIÓN Max	CONFORME	AJUSTE DE CERO	CONFORME	ESCALA	CONFORME
ESPECIFICACIÓN Min	CONFORME	OSCILACIÓN LIBRE	CONFORME	CURSOR	NO TIENE
ESPECIFICACIÓN "d"	CONFORME	PLATAFORMA	CONFORME	NIVELACIÓN	CONFORME
ESPECIFICACIÓN "e"	CONFORME	SISTEMA DE TRABAJO	NO TIENE	MARCAS DE VERIFICACIÓN	CONFORME

### ENSAYO DE EXCENTRICIDAD



Posición de La carga	Carga Min. (g)	I (Kg)
1		1Kg
2		1Kg
3	5gr	1Kg
4		1Kg
5		1Kg

**Anexo 3. Consentimiento informado en caso de ser necesario**

Permiso de la industria pesquera para el uso de lodos residuales

		<h1>GUIA INTERNA</h1>		Nro: <b>319</b> FECHA: <b>13.03.24</b>
<b>DESTINO:</b> UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO				
<b>USO:</b> RESIDUOS SEMISOLIDOS DE PTARI (DONACION)				
CANTIDAD	U.M.	DESCRIPCIÓN		
20	LT	RESIDUOS SEMISOLIDOS DE PTARI		
		UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO (20138705944)		
		RONALD JULIAN GOMEZ ESTACIO (47368510)		
		AV.SAENZ PEÑA #1060 PROV.CONST. DEL CALLAO BELLAVISTA		
				
ATENDIDO POR: PABLO TORRE ALMACENERO DE MATERIALES		V°B°	RECIBI CONFORME RONALD JULIAN GOMEZ	AUTORIZADO  47368510

## Anexo 4. Base de datos

### Base de datos de experimentos de optimización del Hidrocarbón

Tratamiento	A:Tiempo (min)	B:Temperatura (°C)	Peso final	Eficiencia de producción (%)
1	300	100	28,3	28,3
2	180	300	18,4	18,4
3	300	300	16,7	16,7
4	180	100	35,5	35,5
5	300	100	29,7	29,7
6	180	100	33,5	33,5
7	240	200	25,6	25,6
8	240	200	24,8	24,8
9	300	300	15,1	15,1
10	240	200	27,2	27,2
11	351,67	200	14,5	14,5
12	300	100	28,5	28,5
13	300	300	15,8	15,8
14	180	300	19,43	19,43
15	240	13,87	27,4	27,4
16	128,32	200	26,3	26,3
17	180	300	20,34	20,34
18	180	100	32,5	32,5
19	240	386,12	16,8	16,8

### Base de datos de experimentos de optimización del Biocarbón

Tratamiento	A:Tiempo min	B:Temperatura °C	Peso g	Eficiencia de producción %
1	90	500	23,87	23,87
2	120	650	20,45	20,45
3	120	650	19,52	19,52
4	105	575	22,61	22,61
5	90	500	26,71	26,71
6	77,02	575	25,76	25,76
7	105	575	23,21	23,21
8	120	650	21,23	21,23
9	132,92	575	19,61	19,61
10	90	500	23,52	23,52
11	105	435,41	27,97	27,97
12	90	650	24,52	24,52
13	105	575	23,35	23,35
14	120	500	26,65	26,65
15	105	714,59	17,48	17,48
16	90	650	23,31	23,31
17	90	650	24,78	24,78
18	120	500	26,78	26,78
19	120	500	25,78	25,78

## Análisis de las propiedades básicas de los lodos residuales, hidrocarbón y biocarbón

Muestras	Cenizas %	Nitrógeno %	Fósforo %	Potasio %	Humedad %	C <sub>org</sub> %	Relación H:C
Lodos						16.75	
Pesquera	24.72	6.60	11.93	0.42	13.64		1.63
Biocarbón (Réplica 1)	39.27	7.43	14.15	0.43	9.86	21.07	0.94
Biocarbón (Réplica 2)	41.28	7.07	16.11	0.48	9.58	21.22	0.90
Biocarbón (Réplica 3)	40.66	7.07	14.74	0.49	10.69	21.68	0.99
Hidrocarbón (Réplica 1)	16.13	9.25	6.15	0.25	23.31	21.08	2.21
Hidrocarbón (Réplica 2)	16.07	8.74	6.34	0.27	26.36	21.43	2.46
Hidrocarbón (Réplica 3)	12.31	8.26	5.30	0.19	31.94	20.82	3.07



# Base de datos de análisis de laboratorio



SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS  
S.A.C.

## INFORME DE ENSAYO IE-2024-0858

### 1. DATOS DEL CLIENTE

1.1 Cliente : GOMEZ ESTACIO RONALD JULIAN  
1.2 RUC o DNI : 47368510  
1.3 Dirección : No Precisa

### 2. DATOS DE LA MUESTRA

2.1 Producto : BIOCARBÓN / LODOS SEMISÓLIDOS  
2.2 Muestreado por : CLIENTE (C)  
2.3 Número de Muestras : 07  
2.4 Fecha de Recepción : 2024-04-26  
2.5 Periodo de Ensayo : 2024-04-29 al 2024-05-14  
2.6 Fecha de Emisión : 2024-05-15  
2.7 Fecha y Hora de Muestreo : No Precisa  
2.8 N° de cotización : COT-119010-SL24

### 3. ENSAYO SOLICITADO - METODOLOGÍA UTILIZADA

ENSAYO	MÉTODO
Caracterización de materiales por Análisis de Espectroscopía Infrarroja FTIR-ATR	ASTM E1252 Práctica estándar para técnicas generales de obtención de espectros infrarrojos para análisis cualitativo
Cenizas	ISO 21656
Nitrógeno, N %	Kjeldahl
Relación H:C (orgánico)	Cálculo
Fósforo, P	UV-VIS
Potasio, K	Absorción Atómica-Llama
Humedad	Gravimetría
Carbono Orgánico Total	NOM-021-RECNAT-2000 AS-07

  
DIEGO ROMANO VERGARA D'ARRIGO  
QUÍMICO  
COP. 1337

V04  
2024-04-10

SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS S.A.C.  
Calle 22 Urb. Vipol Naranjal Mz E Lt 07, San Martín De Porres Lima-Perú.  
Cel: 926640042

[www.slabperu.com](http://www.slabperu.com) - [contacto@slabperu.com](mailto:contacto@slabperu.com)

Página 1 de 7

INFORME DE ENSAYO IE-2024-0858

**4. RESULTADOS**

**4.1. DESCRIPCIÓN DE MUESTRA:**

Código de Laboratorio	Descripción de Muestras
S-1719	M1. BIOCARBON 50 gr (análisis químico) <sup>(1)</sup>
S-1720	M2. BIOCARBON 50gr (análisis químico) <sup>(1)</sup>
S-1721	M3. BIOCARBON 55gr (FTIR+ANÁLISIS Q.) <sup>(1)</sup>
S-1722	M1. HIDROCARBON 50gr (análisis químicos) <sup>(1)</sup>
S-1723	M2. HIDROCARBON 50gr (análisis químico) <sup>(1)</sup>
S-1724	M3. HIDROCARBON 55 gr (FTIR+ANÁLISIS Q.) <sup>(1)</sup>
S-1725	LODO SEMIRESIDUAL 50gr (ANÁLISIS Q.) <sup>(1)</sup>

**4.2. RESULTADOS OBTENIDOS DE ANÁLISIS QUÍMICO BÁSICO (S-1719)**

Tabla N°1: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-1719	Cenizas	%	0.01	39.27
	Nitrógeno, N	%	0.01	7.43*
	Fósforo, P	%	0.01	14.15
	Potasio, K	%	0.01	0.43
	Humedad	%	0.01	9.86
	Carbono Orgánico Total	%	0.01	21.07
	Relación H:C (orgánico)	SIN UNIDAD	N/A	0.94

\*Resultado Expresado en Base Seca

4.3. RESULTADOS OBTENIDOS DE ANÁLISIS QUÍMICO BÁSICO (S-1720)

Tabla N°2: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-1720	Cenizas	%	0.01	41.28
	Nitrógeno, N	%	0.01	7.07*
	Fósforo, P	%	0.01	16.11
	Potasio, K	%	0.01	0.48
	Humedad	%	0.01	9.58
	Carbono Orgánico Total	%	0.01	21.22
	Relación H:C (orgánico)	SIN UNIDAD	N/A	0.90

\*Resultado Expresado en Base Seca

4.4. RESULTADOS OBTENIDOS DE ANÁLISIS QUÍMICO BÁSICO (S-1721)

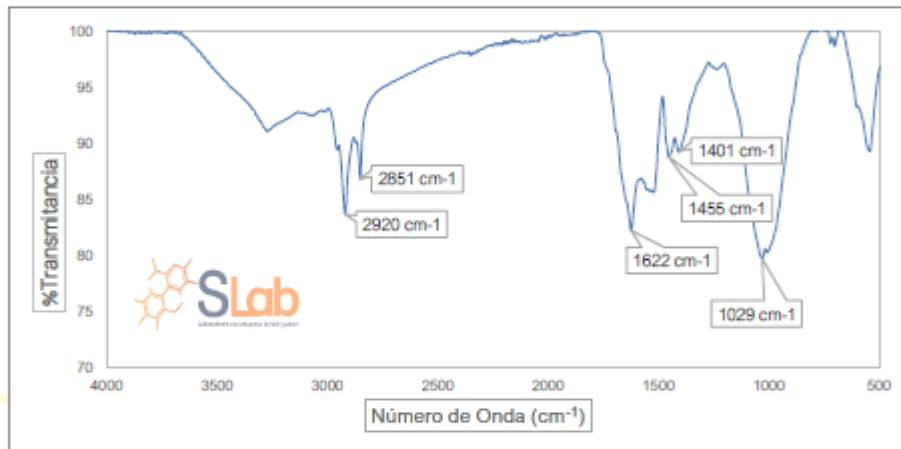
Tabla N°3: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-1721	Cenizas	%	0.01	40.66
	Nitrógeno, N	%	0.01	7.07*
	Fósforo, P	%	0.01	14.74
	Potasio, K	%	0.01	0.49
	Humedad	%	0.01	10.69
	Carbono Orgánico Total	%	0.01	21.68
	Relación H:C (orgánico)	SIN UNIDAD	N/A	0.99

\*Resultado Expresado en Base Seca

**4.5. RESULTADOS OBTENIDOS DE ESPECTROSCOPIA INFRARROJA (FTIR-ATR) – (S-1721)**

- Normas de Referencia: ASTM E1252 "Práctica estándar para técnicas generales para obtener espectros infrarrojos para análisis cualitativo".
- Equipo Utilizado: Espectrofotómetro Infrarrojo -Perkin Elmer
- Software: Perkin Elmer Spectrum 10
- Rango de Prueba: Intervalo de número de onda 380  $\text{cm}^{-1}$  a 4000  $\text{cm}^{-1}$



**Figura N°1: ESPECTROS FTIR-ATR DE LA MUESTRA**

**Tabla N°4: IDENTIFICACIÓN DE LOS GRUPOS FUNCIONALES**

Tipo de Vibración	Grupo funcional	Rango Teórico (cm <sup>-1</sup> )	Resultado experimental (cm <sup>-1</sup> )
Banda de vibración de tensión	"-C-H "	3000-2850	2920
Banda de vibración de tensión	"-C=O "	1600-1750	1622
Banda de vibración de balanceo	"-CH2"	1465-1450	1455
Banda de vibración de balanceo	"-CH3 "	1450-1375	1401
Banda de vibración de tensión	"-C-O-"	1000-1250	1029

Comentarios:

- La muestra S-1721 presenta los picos característicos "C-H", "C=O" y "C-O" de un biocarbón

INFORME DE ENSAYO IE-2024-0858

4.6. RESULTADOS OBTENIDOS DE ANÁLISIS QUÍMICO BÁSICO (S-1722)

Tabla N°5: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-1722	Cenizas	%	0.01	16.13
	Nitrógeno, N	%	0.01	9.25*
	Fósforo, P	%	0.01	6.15
	Potasio, K	%	0.01	0.25
	Humedad	%	0.01	23.31
	Carbono Orgánico Total	%	0.01	21.08
	Relación H:C (orgánico)	SIN UNIDAD	N/A	2.21

\*Resultado Expresado en Base Seca

4.7. RESULTADOS OBTENIDOS DE ANÁLISIS QUÍMICO BÁSICO (S-1723)

Tabla N°6: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-1723	Cenizas	%	0.01	16.07
	Nitrógeno, N	%	0.01	8.74*
	Fósforo, P	%	0.01	6.34
	Potasio, K	%	0.01	0.27
	Humedad	%	0.01	26.36
	Carbono Orgánico Total	%	0.01	21.43
	Relación H:C (orgánico)	SIN UNIDAD	N/A	2.46

\*Resultado Expresado en Base Seca

4.8. RESULTADOS OBTENIDOS DE ANÁLISIS QUÍMICO BÁSICO (S-1724)

Tabla N°7: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-1724	Cenizas	%	0.01	12.31
	Nitrógeno, N	%	0.01	8.26*
	Fósforo, P	%	0.01	5.30
	Potasio, K	%	0.01	0.19
	Humedad	%	0.01	31.94
	Carbono Orgánico Total	%	0.01	20.82
	Relación H:C (orgánico)	SIN UNIDAD	N/A	3.07

\*Resultado Expresado en Base Seca

INFORME DE ENSAYO IE-2024-0858

**4.9. RESULTADOS OBTENIDOS DE ESPECTROSCOPIA INFRARROJA (FTIR-ATR) – (S-1724)**

- Normas de Referencia: ASTM E1252 "Práctica estándar para técnicas generales para obtener espectros infrarrojos para análisis cualitativo".
- Equipo Utilizado: Espectrofotómetro Infrarrojo -Perkin Elmer
- Software: Perkin Elmer Spectrum 10
- Rango de Prueba: Intervalo de número de onda 380  $\text{cm}^{-1}$  a 4000  $\text{cm}^{-1}$

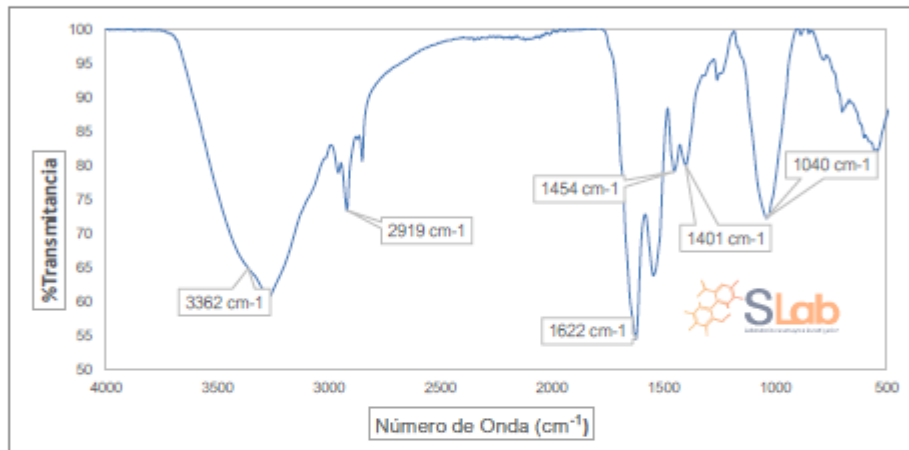


Figura N°2: ESPECTROS FTIR-ATR DE LA MUESTRA

Laboratorio de ensayo e investigación

Tabla N°8: IDENTIFICACIÓN DE LOS GRUPOS FUNCIONALES

Tipo de Vibración	Grupo funcional	Rango Teórico ( $\text{cm}^{-1}$ )	Resultado experimental ( $\text{cm}^{-1}$ )
Banda de vibración de tensión	"O-H "	3200-3400	3362
Banda de vibración de tensión	"C-H "	3000-2850	2919
Banda de vibración de tensión	"C=O "	1600-1750	1622
Banda de vibración de balanceo	"-CH <sub>2</sub> "	1465-1450	1454
Banda de vibración de balanceo	"-CH <sub>3</sub> "	1450-1375	1401
Banda de vibración de tensión	"C-O"	1000-1250	1040

**Comentarios:**

- La muestra S-1724 presenta los picos característicos "C-H", "C=O" y "C-O" de un Hidrocarbón

**4.10. RESULTADOS OBTENIDOS DE ANÁLISIS QUÍMICO BÁSICO (S-1725)**

Tabla N°9: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-1725	Cenizas	%	0.01	24.72
	Nitrógeno, N	%	0.01	6.60*
	Fósforo, P	%	0.01	11.93
	Potasio, K	%	0.01	0.42
	Humedad	%	0.01	13.64
	Carbono Orgánico Total	%	0.01	16.75
	Relación H:C (orgánico)	SIN UNIDAD	N/A	1.63

\*Resultado Expresado en Base Seca

**Leyenda**

LCM: Límite de Cuantificación de Método.

(C) Información suministrada por el cliente.

- Sin la aprobación del laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. no se debe reproducir el informe de ensayo parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
- Los resultados de los ensayos se aplican a la muestra como se recibió y no se deben usar como una declaración de conformidad con una especificación o normas de productos de la entidad que lo produce.
- El laboratorio no es responsable de la información que ha sido identificada como suministrada por el cliente.
- El muestreo está fuera del alcance de acreditación.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
- Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio.

FIN DE DOCUMENTO

**Anexo 5. Otros anexos necesarios de acuerdo a la naturaleza del problema.**

**Recolección y transporte de lodos**





## ***Producción de biocarbón e hidrocarbón***



*Filtrado de lodos de la industria pesquera*



*Secado de lodos en un secador convectivo*



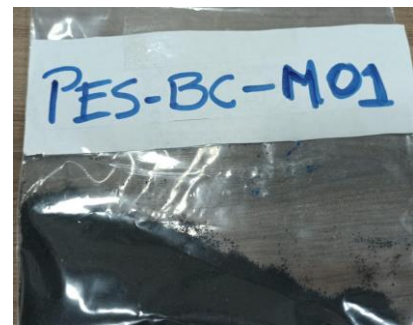
*Pesaje del lodo para el ingreso al reactor de pirólisis*



*Proceso de tamizado*



*Proceso de molienda*



*Muestras de laboratorio*

Fotografías de producción

