

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS

DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y MEDIOAMBIENTE



**Evaluación y metodologías en el aprovechamiento de subproductos de pescado: harina y
biol de víscera de pescado.**

POR

PAOLA MICHELLE MONTOYA LÓPEZ

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS
DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y MEDIOAMBIENTE



**Evaluación y metodologías en el aprovechamiento de subproductos de pescado: harina y
biol de víscera de pescado.**

POR

PAOLA MICHELLE MONTOYA LÓPEZ

REQUISITO PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

CIUDAD UNIVERSITARIA, MARZO DE 2026.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR

M.SC. JUAN ROSA QUINTANILLA QUINTANILLA

SECRETARIO GENERAL

LIC. PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

DECANO

M.SC. NELSON BERNABÉ GRANADOS ALVARADO

SECRETARIO

INGENIERO MSC. EDGAR GEOVANY REYES MELARA

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE

LIC. DANIEL DE JESÚS PALACIOS

DOCENTES DIRECTORES

ING. AGR. JOSÉ MAURICIO TEJADA ASECIO

ING. AGR. JUAN GERARDO MARROQUÍN REINA

COORDINADOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADUACIÓN DEL DEPARTAMENTO DE

RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE

ING. AGR. JUAN GERARDO MARROQUÍN REINA

RESUMEN

La presente investigación se desarrolló en 2024 en la estación experimental y de Prácticas de la Universidad de El Salvador, ubicada en San Luis Talpa, departamento de la Paz Oeste (13°47'50" latitud norte y 89°09'62" longitud oeste), con el objetivo de evaluar metodologías para el aprovechamiento de subproductos de la industria piscícola mediante la elaboración de biol y harina a partir de vísceras y espinas de tilapia (*Oreochromis spp.*). El estudio tuvo un enfoque aplicado, experimental y comparativo, considerando la valorización de residuos como alternativa sostenible en la agroindustria. Se emplearon procesos de fermentación ácido- láctica para la obtención de biol y operaciones unitarias de cocción, secado solar y molienda para la producción de harina. Ambos productos fueron sometidos a análisis químicos para determinar su valor nutricional y se calcularon los rendimientos de producción para cada metodología.

Palabras clave: subproductos piscícolas, Biol, Fermentación ácido-láctica, Biofertilizantes orgánicos, Valorización de residuos.

ABSTRACT

The present research was conducted in 2024 at the Experimental and Practical Station of the University of El Salvador, located in San Luis Talpa, La Paz department, with the objective of evaluating methodologies for the utilization of fishery industry by-products through the production of biol and bone meal from tilapia viscera and bones (*Oreochromis spp.*). The study followed an applied, experimental, and comparative approach, considering waste valorization as a sustainable alternative within the agroindustrial sector. Lactic acid fermentation processes were used for biol production, while unit operations such as cooking, solar drying, and grinding were applied for bone meal processing. Both products were subjected to chemical analyses to determine their nutritional value, and production yields were calculated for each methodology.

Keywords: fishery by-products, biol, lactic acid fermentation, organic biofertilizers, waste valorization.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi profundo agradecimiento a todas las personas que contribuyeron de manera directa e indirecta a la realización de este trabajo de investigación.

De manera especial, se agradece al Ingeniero Gerardo Marroquín, por su orientación académica, acompañamiento durante el desarrollo del trabajo y apoyo en las actividades prácticas, los cuales fueron fundamentales para alcanzar los objetivos propuestos.

Así mismo, se agradece a René Girón, por su invaluable apoyo al facilitar los materiales necesarios para la ejecución de las prácticas y por su constante incentivo para culminar con éxito la formación universitaria.

De igual forma, se agradece a Diego Sosa, por su amistad incondicional y por acompañarme a lo largo de toda la carrera universitaria, brindando apoyo mutuo, motivación constante y fortaleza en cada etapa del proceso académico.

A mi mejor amiga Jeimy Violeta, quien siempre motivó a quienes la rodeaban a superarse y a mantenerse en constante formación académica. Su apoyo, motivación y ejemplo de vida permanecerán como una inspiración para seguir adelante.

Finalmente, se agradece a la Universidad de El Salvador por proporcionar los espacios y recursos necesarios para el desarrollo de la presente investigación.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	OBJETIVOS	2
2.1.	Objetivo General:	2
2.2.	Objetivos específicos:.....	2
3.	MARCO TEORICO.....	3
3.1.	Problema ambiental de residuos pesqueros.	3
3.2.	Economía circular y valorización.	4
3.3.	Caracterización de los subproductos de pescado: vísceras y espinas.....	4
3.4.	Fundamentos bioquímicos	5
3.5.	Definición teórica y operativa del biol de subproductos de pescado.	5
3.6.	Definición teórica y fundamentos de la harina de pescado.	6
3.7.	Bioestimulantes y biofertilizantes de origen orgánico y su valor agronómico.....	6
3.8.	Parámetros fisicoquímicos.....	7
3.9.	Aplicación agronómica según composición y criterios técnicos de uso del biol de subproductos de pescado.	8
3.10.	Métodos de aplicación y consideraciones técnicas.	9
3.11.	Comparación funcional entre biol de vísceras de pescado y biofertilizante tipo Supermagro.	10
4.	METODOLOGÍA	13
4.1.	Tipo y diseño de la investigación.	13
4.2.	Área de estudio.....	13
4.3.	Metodología de laboratorio.....	15
	Procedimiento para obtención de harina de pescado.	15
	Determinación de parámetros fisicoquímicos en el biol de vísceras de pescado.	16
4.4.	Elaboración de biol a partir de vísceras de pescado (fermentación ácido- láctico).....	17
4.5.	Elaboración de harina a partir de espinas de pescado.....	23
4.6.	Metodología de gabinete	25
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	26
5.1.	Caracterización del biol elaborado a partir de vísceras de pescado.	26
5.2.	Informe de resultados de análisis de harina de pescado.	29
5.3.	Resultados del instrumento de evaluación técnica aplicado a los procesos de elaboración de biol y harina de pescado.....	31
6.	CONCLUSIONES.....	36

7. RECOMENDACIONES	37
8. BIBLIOGRAFÍAS.....	38
9. ANEXOS.....	37

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Ubicación y áreas de trabajo en el estudio: A) Imagen satelital de la planta Pesquera del Pacífico, B) vista de la planta Pesquera del Pacífico, C) Imagen satelital de la Estación Experimental y de Prácticas EEP, D) área de trabajo ubicada en lote La Bomba de la Estación Experimental, donde se condujo el ensayo.....	14
Figura 2 Proceso de recolección y preparación de los subproductos de pescado para la elaboración del biol: A) traslado de los subproductos del pescado (Vísceras y espinas) desde la planta de procesamiento, B) equipo utilizado para el transporte de los subproductos, C) Herramientas empleadas para la construcción del biodigestor, D) Biodigestor finalizado listo para su utilización, E) Preparación e incorporación de vísceras en el biodigestor, F) Adición de melaza como fuente de carbono para el proceso de fermentación, G) Activación de microorganismos de montaña para favorecer la fermentación, H) mezcla de todos los componentes dentro del biodigestor.....	19
Figura 3 Etapas finales del proceso de obtención y acondicionamiento del biol a partir de vísceras de pescado: A) sólidos provenientes de las vísceras durante la fermentación del biol, B) Presencia de aceite liberado de las vísceras durante la fermentación del biol, C) separación de las fracciones sólida y líquida del biol, D) fracción sólida resultante del proceso, E) incorporación de melaza como insumo complementario, F) filtrado del biol mediante malla fina para eliminar partículas sólidas., G) envasado del producto final obtenido.	22
Figura 4 Proceso de elaboración de la harina de espinas de pescado mediante secado solar y molienda. A) secado solar de las espinas de pescado para la reducción del contenido de humedad, B) determinación del peso de las espinas después del proceso de secado, C) tamizado de las espinas molidas para separar fragmentos de mayor tamaño, D) producto final correspondiente a la harina de espinas de pescado, E) determinación del peso final de la harina obtenida.	24
Figura 5 Comparación del promedio de evaluación obtenido para los procesos de elaboración de biol y harina de pescado en los apartados de factibilidad técnica, obtención de materia prima y manipulación y riesgos.....	34

ÍNDICE DE CUADROS.

Cuadro 1. Comparación de beneficios y riesgos entre biofertilizante orgánico (Vísceras de pescado) y biofertilizante (Supermagro).....	11
Cuadro 2 Análisis comparativo de subproductos derivados de pescado y otros insumos agrícolas.	12
Cuadro 3 escala de valoración utilizada en el instrumento de evaluación.	25
Cuadro 4 Resultados del análisis químico del biol de vísceras de pescado y Supermagro.	26
Cuadro 5 Resultados de análisis químico de harina de pescado.	30
Cuadro 6 Matriz de indicadores y resultados de biol y harina de pescado.....	32
Cuadro 7 Matriz de comparación pros y contra de harina de pescado y harina de hueso.....	35

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Instrumento de evaluación técnica del proceso de elaboración de biol y harina de subproductos de pescado.	42
Anexo 2. Informe de resultados de análisis para harina de pescado	44
Anexo 3. Informe de resultados de análisis de biol de vísceras de pescado y biofertilizante Supermagro.	45

1. INTRODUCCIÓN

La industria piscícola enfrenta el reto de gestionar una cantidad significativa de residuos provenientes de su producción siendo las vísceras y espinas de pescado los subproductos más comunes y difíciles de manejar. Tradicionalmente, estos subproductos han sido considerados residuos, pero estudios recientes han mostrado que poseen un alto potencial para ser transformados en insumos útiles, como fertilizantes orgánicos y bioestimulantes agrícolas.

El proceso de ensilado o hidrólisis de pescado para la obtención de biol (fertilizante líquido) y harina de espinas (como abono sólido) es una técnica viable para aprovechar estos subproductos con alto valor nutricional y funcional (Toppe, Olsen, Peñarubia & James, 2018).

Este estudio tiene como objetivo evaluar las metodologías de obtención de biol de vísceras y harina de espinas de tilapia, analizar su composición química y determinar su rendimiento agrícola, para determinar su viabilidad en la agricultura y en la economía circular.

La economía circular en la industria piscícola no solo representa un beneficio ambiental, sino también una oportunidad para la optimización de recursos y la reducción de desechos, lo que puede beneficiar tanto a los productores de pescado como a los agricultores que utilizan estos insumos.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General:

- Evaluar las metodologías en el aprovechamiento de harina y biol de víscera de pescado como subproductos de la industria piscícola.

2.2. Objetivos específicos:

- Determinar el valor nutricional de la harina y del biol obtenidos a partir de vísceras y espinas de pescado mediante análisis químicos.
- Evaluar las metodologías de elaboración de insumos orgánicos a partir de vísceras de pescado y espinas.
- Analizar el rendimiento de producción de insumos orgánicos a partir de subproductos del pescado.

3. MARCO TEORICO

3.1. Problema ambiental de residuos pesqueros.

Uno de los problemas más grandes que enfrenta la industria pesquera acuícola es el inadecuado manejo de residuos orgánicos que están conformados por vísceras, piel, cola cabeza, espinazos entre otros descartes. Estos residuos son considerados subproductos de la pesca y de sus procesos de transformación, gran parte de ellos son desechados sin aprovechamiento alguno (Florez, 2017).

Históricamente los subproductos pesqueros se consideran de bajo o nulo valor económico y se desechan de la forma más conveniente ya sea enterrándolo en rellenos sanitarios o arrojándolos al mar. Estas prácticas en mayor o menor medida provocan efectos negativos como contaminación del ambiente, proliferación de vectores de enfermedades para la población, alteraciones en el paisaje y erosión en el suelo (Bhattacharya, 2022).

Sin embargo, actualmente gracias a grandes esfuerzos en I+D son varios destinos que se les puede dar a los residuos de pescados, tanto por los beneficios ambientales como por la posibilidad de darles un valor económico (Nawaz et al., 2020). El procesamiento de pescado requiere de la remoción de huesos, piel, cabeza y vísceras que representan aproximadamente el 60 al 70 g/100 del peso del pescado en especies como tilapia, bacalao, salmón, abadejo (Villamil et al., 2017).

En la industria de la pesca, parte de los residuos generados son utilizados para diferentes fines; uno de ellos es la producción de harinas a base de espinas de pescado natural y sostenible, proporciona una fuente concentrada de proteína de alta calidad y una grasa rica en ácidos omega- 3, DHA y EPA (proteína). En cuanto a los residuos de vísceras de pescado genera problemas de contaminación, sin embargo, estos pueden ser favorables en la elaboración de ensilados biológicos de pescado ya que son ricos en nitrógeno, fosforo, omegas, minerales que pueden sustituir a los medios de cultivos masivos basados en fertilizantes agrícolas (Ananey- Obiri & Tahergorabi, 2018).

3.2. Economía circular y valorización.

La economía circular surge como modelo alternativo al sistema lineal tradicional de producción, basado en extraer, producir, consumir y desechar. Este enfoque propone la reducción de residuos mediante la reutilización, reciclaje y valorización de materiales, permitiendo cerrar ciclos productivos y optimizar el uso de los recursos naturales.

El sector pesquero y acuícola, la economía circular adquiere una relevancia estratégica debido al alto volumen de subproducto generados durante el procesamiento industrial del pescado. Se estima que entre el 20% y el 80% del peso total del pescado procesado se convierte en residuos, dependiendo de la especie y del tipo de transformación industrial aplicada (FAO, 2018). Estos subproductos incluyen vísceras, cabezas, espinas, pieles y sangre, los cuales históricamente han sido destinados a vertederos o descartados en ambientes acuáticos, generando impactos ambientales significativos.

La aplicación de los principios de economía circular en la industria pesquera permite transformar estos residuos en insumos con valor agregado, como fertilizantes orgánicos, bioestimulantes, harinas proteicas y aceites. Este enfoque es conocido como “Circularidad azul”, busca integrar los flujos de nutrientes provenientes del ecosistema marino con otros sectores productivos, especialmente la agricultura, reduciendo la dependencia de fertilizantes sintéticos y promoviendo sistemas agroalimentarios más sostenibles (FAO, 2020).

3.3. Caracterización de los subproductos de pescado: vísceras y espinas.

Los subproductos de pescado presentan una composición bioquímica variable según la especie, el hábitat, la alimentación y el estado fisiológico del organismo. Entre ellos, las vísceras y espinas destacan por su alto potencial de aprovechamiento agroindustrial. Las vísceras contienen principalmente proteínas, lípidos, enzimas digestivas y compuestos nitrogenados, lo que las convierte en una materia prima altamente reactiva, susceptible a degradación, pero con gran capacidad para procesos de transformación bioquímica controlada (Kristinsson & Rasco, 2000).

Por su parte, las espinas constituyen una fracción sólida con alto contenido mineral principalmente calcio y fósforo en forma de cálcico. Estas características permiten su valorización mediante procesos de secado y molienda, obteniendo harinas minerales con su potencial uso agrícola o como complemento nutricional en formulaciones orgánicas (FAO, 2012).

La combinación de vísceras y espinas en procesos de aprovechamiento permite obtener productos líquidos y sólidos con perfiles nutricionales diferenciados, lo que justifica su evaluación comparativa en función del método de procesamiento aplicado.

3.4. Fundamentos bioquímicos

El potencial de las vísceras de pescado como materia prima agroindustrial se fundamenta en su composición bioquímica, particularmente en la presencia de enzimas digestivas endógenas como pepsinas, tripsinas y quimiotripsinas, las cuales favorecen la degradación de proteínas complejas en péptidos y aminoácidos mediante procesos de autólisis o hidrólisis (Vidotti et al., 2003). Esta capacidad autolítica puede aprovecharse en tecnologías de transformación de bajo costo, como el ensilado o la fermentación controlada, reduciendo la necesidad de enzimas comerciales externas. Durante estos procesos las proteínas se convierten en compuestos nitrogenados solubles que incrementan la biodisponibilidad de nutrientes en los productos derivados. Asimismo, los aminoácidos libres generados pueden desempeñar funciones fisiológicas en las plantas, actuando como precursores metabólicos, agentes quelantes y moléculas señalizadoras con efecto bioestimulantes (Du Jardin, 2015). Estos fundamentos bioquímicos explican el elevado valor agronómico de los subproductos líquidos derivados de pescado en comparación con muchos fertilizantes orgánicos convencionales.

3.5. Definición teórica y operativa del biol de subproductos de pescado.

El biol de pescado se define teóricamente como un fertilizante orgánico líquido obtenido a partir de la fermentación, acidificación o hidrólisis de subproductos pesqueros,

principalmente vísceras, sangre y restos blandos. Este proceso permite estabilizar la materia orgánica y solubilizar compuestos nutritivos, facilitando su uso agrícola (FAO, 2018).

El biol representa la fracción líquida estabilizada resultante de procesos bioquímicos controlados, caracterizada por un contenido elevado de nitrógeno orgánico, aminoácidos libres, péptidos y micronutrientes en formas fácilmente asimilables (FAO, 2013; Vidotti et al., 2003). El valor funcional del biol radica en su capacidad de aplicación mediante sistemas de fertirrigación o aspersión foliar, lo que convierte en un insumo compatible con tecnologías agrícolas modernas orientadas a la eficiencia nutricional y sostenibilidad productiva (Du Jardin, 2015). No obstante, su estabilidad, vida útil y control microbiológico dependen directamente del diseño del proceso, el control de pH y las condiciones de almacenamiento, considerados factores críticos desde la ingeniería agroindustrial para garantizar la calidad y seguridad del producto final (FAO, 2013).

3.6. Definición teórica y fundamentos de la harina de pescado.

La harina de pescado se define como un producto obtenido mediante la eliminación de agua y grasa de materias ricas en proteínas y minerales, seguido de un proceso de molienda. Tradicionalmente, este producto, ha sido utilizado como insumo en la alimentación animal, pero su aplicación agrícola ha logrado interés en el contexto de valorización de residuos (FAO, 2012).

3.7. Bioestimulantes y biofertilizantes de origen orgánico y su valor agronómico.

Los bioestimulantes se definen como sustancias o microorganismos que estimulan procesos fisiológicos en las plantas, mejorando el crecimiento, la eficiencia nutricional y la tolerancia al estrés, sin actuar exclusivamente como fuentes de nutrientes (Du Jardin, 2015). Los hidrolizados proteicos derivados de subproductos de pescado han sido ampliamente reconocidos como bioestimulantes naturales debido a su composición en aminoácidos y péptidos de bajo peso molecular. Estos compuestos pueden ser absorbidos directamente por las plantas, reduciendo el gasto energético asociado a la asimilación del nitrógeno inorgánico (Calvo et al., 2014).

Este enfoque justifica el estudio del biol de pescado no solo como fertilizante, sino como un insumo funcional con efectos bioestimulantes, lo que amplía su valor agronómico y su potencial de mercado.

3.8. Parámetros fisicoquímicos.

La evaluación de parámetros fisicoquímicos y nutricionales es fundamental en el aprovechamiento agroindustrial de subproductos de pescado ya que permite determinar la estabilidad, funcionalidad agronómica y seguridad del biol y harina. Variables como pH, conductividad eléctrica (CE), sólidos totales, magnesio y macronutrientes (N, P, K) son ampliamente utilizadas en la caracterización de fertilizantes orgánicos derivados de residuos biológicos (FAO, 2018).

El pH influye directamente en la estabilidad microbiológica y conservación del biol, valores inferiores a 4.6 favorecen la inhibición de microorganismos patógenos y reducen riesgos sanitarios (FAO, 2018). Además, condiciona la disponibilidad de nutrientes y previene efectos de fitotoxicidad. La conductividad eléctrica indica la concentración de sales solubles y permite establecer diluciones adecuadas para evitar estrés osmótico en las plantas (Du Jardin, 2015).

Los sólidos totales reflejan la concentración de materia seca y nutrientes, influyendo en la estabilidad y aplicabilidad del producto, especialmente en sistemas de fertirrigación (Kristinsson & Rasco, 2000). El magnesio, componente esencial de la clorofila, refuerza el valor agronómico del biol y la harina debido a su aporte mineral (FAO, 2012).

Por su parte, el nitrógeno orgánico presente en aminoácidos y péptidos favorece una liberación progresiva y mayor eficiencia de absorción (Calvo et al., 2014), mientras que el fósforo y potasio cumplen funciones clave en el desarrollo radicular, regulación osmótica y tolerancia al estrés. En conjunto, estos parámetros permiten comparar metodologías de aprovechamiento y evaluar integralmente la calidad de los subproductos piscícolas en sistemas agrícolas sostenibles.

3.9. Aplicación agronómica según composición y criterios técnicos de uso del biol de subproductos de pescado.

La forma física del producto final (líquida o sólida) influye directamente en su funcionalidad, manejo y aplicación en los sistemas agroindustriales. Los productos líquidos, como el biol, permiten una rápida disponibilidad de nutrientes y una integración eficiente en sistemas tecnificados de fertirrigación y aplicaciones foliares, favoreciendo una respuesta agronómica inmediata (Du Jardin, 2015; FAO, 2018). Por otro lado, los productos sólidos, como la harina de subproductos de pescado, presentan mayor estabilidad física y microbiológica debido a su bajo contenido de humedad, lo que facilita su almacenamiento y transporte (FAO, 2013). La selección entre biol y harina depende de criterios técnicos, económicos y operativos, incluyendo costos de procesamiento, infraestructura disponible y compatibilidad con los sistemas productivos del usuario final. Desde un enfoque integral, la evaluación comparativa de ambas formas de presentación permite analizar la eficiencia del aprovechamiento de subproductos piscícolas bajo principios de sostenibilidad y economía circular (FAO, 2020).

La funcionalidad agronómica del biol derivado de vísceras de pescado depende directamente de su composición nutricional, particularmente de su contenido de nitrógeno, potasio y su pH ligeramente ácido. Estos parámetros permiten establecer criterios técnicos para su aplicación en distintos sistemas de producción agrícola.

Cultivos hortícolas de alta demanda nutricional. En cultivos hortícolas de rápido crecimiento como tomate (*Solanum lycopersicum*), chile dulce (*Capsicum annuum*), pepino (*Cucumis sativus*), repollo (*Brassica oleracea*) y cebolla (*Allium cepa*), lechuga (*Lactuca sativa*), el elevado contenido de nitrógeno orgánico presente en el biol favorece el crecimiento vegetativo y la síntesis de clorofila, procesos fundamentales durante las etapas iniciales del desarrollo (Marschner, 2012).

Asimismo, la alta concentración de potasio contribuye al llenado de frutos, la regulación osmótica y el aumento de la tolerancia al estrés hídrico y térmico (Hawkesford et al., 2012). El pH ácido moderado del biol facilita la solubilidad y absorción de micronutrientes como

hierro, zinc y manganeso, particularmente durante etapas de alta actividad metabólica (Calvo et al., 2014). El momento óptimo de aplicación corresponde a etapas vegetativas activas, prefloración y fructificación, cuando la demanda de nitrógeno y potasio es elevada (Marschner, 2012).

Cultivos frutales y perennes. En cultivos frutales y perennes como cítricos (*Citrus spp.*), mango (*Mangifera indica*), papaya (*Carica papaya*) y aguacate (*Persea americana*), el potasio desempeña un papel fundamental en la calidad del fruto, influyendo en el tamaño, contenido de azúcares y firmeza (Havlin et al., 2014).

El nitrógeno orgánico presente en biofertilizantes líquidos se libera de forma gradual, reduciendo pérdidas por lixiviación y evitando picos de absorción que puedan alterar el equilibrio fisiológico de la planta (FAO, 2018). En estos sistemas se recomienda la aplicación fraccionada al suelo o mediante fertirriego, permitiendo una distribución homogénea del nutriente en la zona radicular y mejorando la eficiencia de uso del fertilizante (García-Gonzales & Sommer, 2019).

3.10. Métodos de aplicación y consideraciones técnicas.

Aplicación foliar (con dilución obligatoria). La aplicación foliar se recomienda principalmente en hortalizas y plantas en fase vegetativa activa. No obstante, debido a la elevada conductividad eléctrica del biol ($8040 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), no se recomienda su aplicación directa, ya que podría generar estrés osmótico y fitotoxicidad (Roldán et al., 2016).

Se sugieren diluciones iguales o superiores a 1:100 (1%). Es decir, 1 litro de biol en 100 litros de agua. La aplicación foliar diluida favorece la rápida absorción de aminoácidos y nitrógeno orgánico, actuando como bioestimulante y mejorando procesos fisiológicos como fotosíntesis y el crecimiento inicial (Du Jardin, 2015).

Aplicación al suelo o fertirriego (método preferente). Este método se recomienda para cultivos frutales, extensivos y suelos con buen drenaje.

Se sugiere una dilución 1:50 (2%). Desde el punto de vista técnico, el suelo actúa como amortiguador de la salinidad, reduciendo el riesgo de fitotoxicidad asociado a bioles con

alta conductividad eléctrica. Además, este método favorece la mineralización progresiva del nitrógeno orgánico y mejora la eficiencia de absorción radicular (Havlin et al., 2014; García-Gonzales & Sommer, 2019).

3.11. Comparación funcional entre biol de vísceras de pescado y biofertilizante tipo Supermagro.

Desde el punto de vista del origen, el biol de vísceras de pescado proviene directamente de subproductos de la industria piscícola, lo que lo convierte en un insumo alineado con la valorización de residuos orgánicos y la reducción de impactos ambientales (FAO, 2018). En contraste, el Supermagro es un biofertilizante fermentado cuya composición depende de la combinación de estiércoles, minerales y otros suplementos orgánicos, lo que puede generar variabilidad en su perfil nutricional, como se muestra en el (Cuadro 1).

En cuanto a la forma de los nutrientes, el biol presenta predominancia de compuestos orgánicos solubles como aminoácidos y péptidos derivados de la hidrólisis proteica, los cuales pueden ejercer efecto bioestimulante además del aporte nutricional (Du Jardin, 2015). La liberación de nutrientes en productos orgánicos líquidos suele ser gradual y asociada a procesos de mineralización, favoreciendo una mayor eficiencia en el uso del nitrógeno (Calvo et al., 2014).

Desde la perspectiva ambiental, ambos productos contribuyen al reciclaje de residuos orgánicos; sin embargo, el aprovechamiento de vísceras de pescado representa una alternativa directa para reducir desechos piscícolas y su disposición inadecuada (FAO, 2018). En conjunto, la comparación funcional de ambos insumos permite establecer criterios técnicos, económicos y operativos que orienten su selección en sistemas agrícolas sostenibles.

El aprovechamiento de subproductos derivados de pescado, como biol y la harina de espinas, representa una alternativa técnica y ambientalmente viable frente a los insumos agrícolas convencionales. En el cuadro 2, se presenta una comparación entre estos

subproductos y otros fertilizantes orgánicos y sintéticos, destacando diferencias en disponibilidad de nutrientes, impacto en el suelo y sostenibilidad.

Cuadro 1. Comparación de beneficios y riesgos entre biofertilizante orgánico (Vísceras de pescado) y biofertilizante (Supermagro).

Criterio	Biofertilizantes orgánicos (vísceras de pescado)	Biofertilizante orgánico. (Supermagro)
Origen	Subproducto de la industria piscícola (materia orgánica renovable).	Biofertilizante fermentado a base de estiércoles, minerales y suplementos orgánicos.
Forma de los nutrientes	Principalmente orgánica (aminoácidos, péptidos, complejos orgánicos).	Mixta: formas orgánicas e inorgánicas según formulación y minerales añadidos.
Liberación de nutrientes	Gradual y sostenida, dependiente de la actividad microbiana.	Variable; puede presentar liberación más rápida dependiendo de la fracción mineral incorporada.
Impacto en el suelo	Mejora la estructura, actividad microbiana y fertilidad a largo plazo.	Aporta nutrientes minerales y orgánicos; impacto depende de la formulación y dosis aplicada.
Riesgo de lixiviación	Bajo, debido a la forma orgánica del nitrógeno.	Puede ser moderado si presenta alta proporción de nutrientes en forma soluble.
Aporte bioestimulante	Sí, contiene aminoácidos y compuestos bioactivos.	Moderado; depende de la diversidad microbiana y minerales incorporados.
Impacto ambiental	Reduce residuos y promueve economía circular.	También promueve el reciclaje de residuos orgánicos, aunque su impacto depende de los insumos utilizados.
Riesgos potenciales	Variabilidad en la composición; riesgo de fitotoxicidad si no se diluye adecuadamente.	Riesgo de salinidad elevada y desbalance nutricional si no se aplica con manejo técnico adecuado.

Fuente: FAO (2017) y Tilman et al. (2011).

Cuadro 2 Análisis comparativo de subproductos derivados de pescado y otros insumos agrícolas.

Criterio de análisis	Biol de vísceras de pescado	Harina de espinas de pescado	Fertilizantes orgánicos tradicionales	Fertilizantes sintéticos
Origen	Subproducto líquido de la industria piscícola (vísceras fermentadas)	Subproducto sólido de espinas de pescado procesadas.	Residuos vegetales o animales (estiércoles, compost).	Procesos industriales químicos o mineros.
Forma del Nitrógeno (N)	Predominantemente orgánico (aminoácidos y péptidos).	Orgánico e inorgánico, asociado a proteínas y minerales	Principalmente orgánico.	Inorgánico (nitrato, amonio, urea).
Disponibilidad de nutrientes	Gradual y sostenida.	Lenta a moderada según degradación del suelo.	Lenta y dependiente de mineralización.	Rápida e inmediata.
Fósforo (p)	Presente en forma soluble y orgánica.	Alto contenido de P asociado a calcio.	Variable y generalmente bajo.	Alto altamente soluble.
Potasio (K)	Presente en concentraciones moderadas.	Bajo	Variable.	Ajustado a formulaciones específicas.
Micronutrientes	Fe, Zn, Mg, Ca biodisponibles.	Alto contenido de Ca y trazas minerales.	Variable según origen.	Generalmente ausentes o añadidos.
Bioestimulación	Alta (aminoácidos, metabolitos microbianos)	Baja o nula.	Moderada (materia orgánica).	Nula
Impacto en el suelo	Mejora microbiota, estructura y actividad biológica.	Mejora estructura y mineralización del suelo.	Mejora materia orgánica del suelo.	Puede causar degradación y salinización.
Conductividad eléctrica	Media, requiere dilución.	Baja.	Baja a media.	Alta, riesgo de salinidad.
Riesgo ambiental	Bajo, promueve economía circular.	Bajo.	Bajo	Alto (lixiviación y contaminación)
Sostenibilidad	Alta	Alta	Alta	Baja
Aplicación agrícola	Fertilización líquida y bioestimulación.	Enmienda mineral y corrector de Ca y P.	Fertilización orgánica general.	Fertilización mineral intensiva.

Fuente: FAO (2018), Du Jardin (2015), Colla et al., (2014).

4. METODOLOGÍA

4.1. Tipo y diseño de la investigación.

La presente investigación es de tipo aplicada, con un enfoque experimental y comparativo, orientada al aprovechamiento de subproductos de la industria piscícola mediante la obtención de insumos orgánicos (biol y harina) a partir de vísceras y espinas de pescado.

El diseño de la investigación comprende la evaluación de metodologías de elaboración de biol y harina, el análisis químico de los productos finales y el cálculo de los rendimientos de producción, con el fin de comparar su eficiencia técnica y su potencial de aprovechamiento agroindustrial.

4.2. Área de estudio.

La investigación se desarrolló en dos fases principales: la primera correspondió a la obtención y manejo de materia prima y la segunda al procesamiento y evaluación de los subproductos en el área de estudio.

En la fase inicial, la materia prima consistió en la obtención de vísceras y espinas frescas de tilapia (*Oreochromis spp.*), provenientes del proceso de eviscerado realizado en la planta procesadora Pesquera del Pacífico, ubicada en la zona industrial de Acajutla, departamento de Sonsonate Oeste, El Salvador (13°39'96" latitud norte y 88°54'91" longitud oeste). Los subproductos fueron recolectados inmediatamente después del procesamiento y transportados en hieleras limpias para mantener su frescura y transportadas en condiciones adecuadas hasta la EEP, con el fin de evitar su deterioro y preservar sus características físicoquímicas (Figura 1 A y B).

Posteriormente, la fase experimental se desarrolló en la Estación Experimental y de Prácticas de la Universidad de El Salvador, ubicada en el municipio de San Luis Talpa, departamento de la Paz Oeste (13°47'50" latitud norte y 89°09'62" longitud oeste), donde se llevaron a cabo los procesos de transformación, análisis y evaluación de los productos obtenidos (Figura 1 C y D).

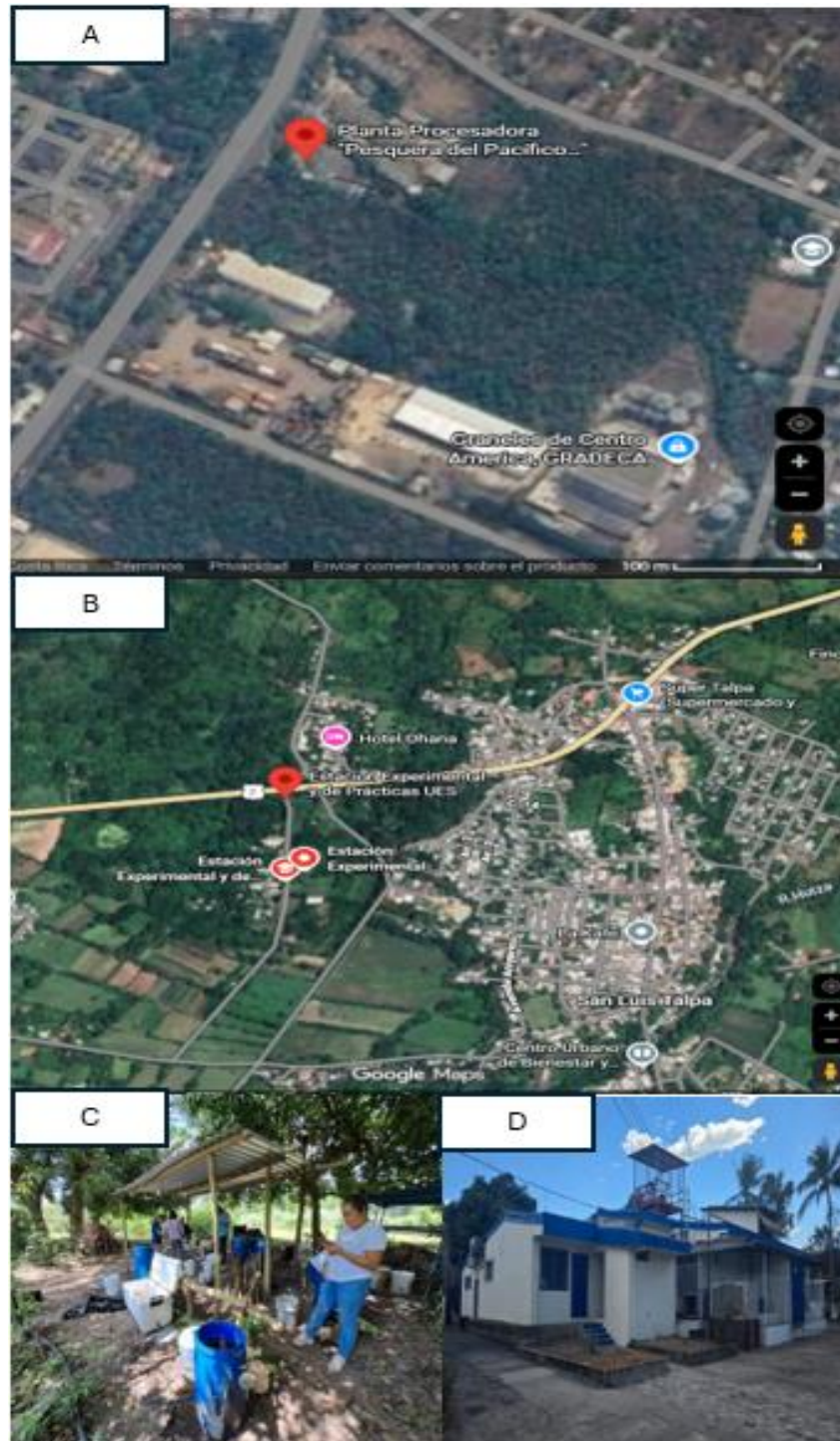


Figura 1. Ubicación y áreas de trabajo en el estudio: A) Imagen satelital de la planta Pesquera del Pacífico, B) vista de la planta Pesquera del Pacífico, C) Imagen satelital de la Estación Experimental y de Prácticas EEP, D) área de trabajo ubicada en lote La Bomba de la Estación Experimental, donde se condujo el ensayo.

4.3. Metodología de laboratorio.

Los análisis químicos del biol y de la harina elaborados a partir de subproductos de pescado, así como del biofertilizante comercial tipo Supermagro utilizado como referencia, se realizaron en el Laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, durante los años 2025 y 2026. Los análisis se efectuaron bajo condiciones controladas de laboratorio y siguiendo metodologías estandarizadas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y nutricionales, con el fin de caracterizar la composición de los productos obtenidos.

Procedimiento para obtención de harina de pescado.

Determinación de composición mineral en harina de espinas de pescado, para la determinación de calcio (Ca), magnesio (Mg) y fósforo (P) presentes en la harina se realizó un proceso de mineralización de la muestra mediante incineración, seguido de análisis instrumental.

Inicialmente, la muestra fue sometida a un proceso de calcinación para la obtención de cenizas, con el objetivo de eliminar la fracción orgánica y concentrar los minerales presentes. Para ello, se pesaron entre 2 y 5 gramos de muestra en crisoles previamente tarados. Posteriormente, los crisoles fueron colocados en una mufla a 550° C durante aproximadamente 2 horas, permitiendo la completa combustión de la materia orgánica.

Al finalizar el proceso se obtuvo la fracción mineral en forma de ceniza, la cual contiene los minerales presentes en la muestra.

Las cenizas obtenidas fueron utilizadas posteriormente para la determinación de calcio y magnesio mediante espectrofotometría de absorción atómica (AA). Para este análisis se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica marca Ichimatsu. Esta técnica se basa en la medición de la radiación absorbida por átomos libres cuando son excitados a una longitud de onda específica.

Durante el análisis, la muestra es introducida en una llama donde los compuestos presentes se disocian y los elementos pasan a su estado atómico fundamental.

Posteriormente, el equipo emite una longitud de onda característica para cada elemento, permitiendo que los átomos absorban energía. La cantidad de radiación absorbida es proporcional a la concentración del elemento presente en la muestra, de acuerdo con la ley de Lambert- Beer, que establece que la absorbancia es directamente proporcional a la concentración del analito.

En el caso de fósforo, la determinación se realizó mediante espectrofotometría ultravioleta-visible (UV- Vis) utilizando el método de colorimétrico de molibdato- vanadato de amonio. Este método se basa en la formación de un complejo coloreado denominado fosfomolibdato- vanadato de amonio, el cual presenta una coloración amarilla característica. La intensidad del color desarrollado se mide en el espectrofotómetro visible y se relaciona directamente con la concentración de fósforo presente en la muestra.

Para la cuantificación de los minerales se prepararon soluciones patrón de concentración conocida, con las cuales se construyó una curva de calibración que relaciona la absorbancia con la concentración del elemento analizado. Posteriormente, se midió la absorbancia de las muestras problema y mediante interpolación en la curva de calibración se determinó la concentración de cada mineral presente.

Determinación de parámetros fisicoquímicos en el biol de vísceras de pescado.

El pH del biol se determinó mediante potenciometría, utilizando un potenciómetro equipado con un electrodo de vidrio. Este electrodo posee una membrana selectiva que es permeable a la actividad de los iones hidrogeno (H^+) presentes en la solución. La diferencia de potencial generada por la actividad de estos iones es detectada por el quipo y transformada en valor de pH, permitiendo determinar el grado de acidez o alcalinidad de la muestra,

La conductividad eléctrica (CE) y sólidos totales disueltos (STD), se determinaron utilizando un conductímetro provisto de un electrodo con dos terminales separadas por una distancia aproximada de 1 cm. La conductividad eléctrica de una solución depende de la

concentración y movilidad de los iones presentes, es decir, a mayor concentración de iones disueltos, mayor es la capacidad de la solución para conducir corriente eléctrica. Este principio permite estimar la cantidad de sales disueltas presentes en el biol, lo cual está directamente relacionado con los sólidos totales disueltos.

Determinación de minerales en el biol, la determinación de magnesio, fósforo y potasio en el biol se realizó mediante espectrofotometría de absorción atómica (AA), siguiendo el mismo principio analítico descrito para el análisis de la harina de espinas de pescado. Esta técnica permite cuantificar los elementos presentes en la muestra mediante la medición de la radiación absorbida por los átomos cuando son excitados a una longitud de onda específica.

El nitrógeno total se determinó mediante el método Kjeldahl, ampliamente utilizado para la cuantificación de nitrógeno en muestras orgánicas. Este método consta de tres etapas principales:

- Digestión: en esta etapa: la muestra es sometida a calentamiento con ácido sulfúrico concentrado a aproximadamente 400 °C, lo que provoca la descomposición de la materia orgánica y la conversión del nitrógeno presente en diferentes compuestos en sulfato de amonio.
- Destilación: posteriormente se añade una base fuerte, generalmente hidróxido de sodio (NaOH), lo cual permite liberar el nitrógeno en forma de amoníaco (NH₃). Este gas es arrastrado mediante vapor y conducido a través del sistema de destilación hacia una solución de ácido bórico, donde el amoníaco es capturado formando borato de amonio.
- Titulación: finalmente, el borato de amonio formado es titulado con ácido clorhídrico (HCl) de concentración conocida, permitiendo calcular la cantidad de nitrógeno presente en la muestra.

4.4. Elaboración de biol a partir de vísceras de pescado (fermentación ácido-láctico).

Obtención y traslado de la materia prima. Para la obtención de la materia prima, se realizó una solicitud formal a la planta procesadora Pesquera del Pacífico, ubicada en Acajutla, departamento de Sonsonate, con el objetivo de adquirir los subproductos generados durante el procesamiento del filete de tilapia. Estos subproductos, compuestos principalmente por vísceras y espinas, son generalmente destinados a rellenos sanitarios al finalizar el proceso industrial, por lo que no se les da un aprovechamiento adicional.

Una vez aprobada la solicitud para la adquisición de dichos subproductos, se procedió a visitar las instalaciones de la planta procesadora para realizar la recolección del material. Para el transporte y conservación de la materia prima, se utilizaron hieleras con hielo, con el fin de mantener adecuadas condiciones de temperatura y evitar su descomposición.

Posteriormente, los subproductos fueron trasladados al lugar de almacenamiento temporal, donde se realizó la separación de las vísceras y las espinas, colocándolas en bolsas individuales para facilitar su manejo y procesamiento posterior. Al día siguiente, el material fue transportado hacia la Estación Experimental y de Prácticas (EEP), donde se iniciaron las actividades correspondientes al proyecto de investigación (Figura 2 A y B).

Preparación del biodigestor y fermentación del biodigestor. El biodigestor fue acondicionado mediante la perforación del barril plástico utilizando un taladro eléctrico equipado con broca de paleta de 5/8. Posteriormente, se instaló una mini válvula conectada a un conector inicial de 16x16 mm, el cual fue acoplado a una manguera de polietileno de 16 mm de diámetro. Este sistema permitió la liberación controlada de los gases generados durante el proceso de fermentación, evitando la acumulación de presión interna y garantizando condiciones adecuadas de seguridad (Figura 2 C y D).

Posteriormente, se adicionaron 10 litros de melaza de caña como fuente de carbono y sustrato energético, e inóculo para las bacterias ácido- lácticas, junto con microorganismos de montaña previamente activados, con el fin de promover una rápida acidificación del sistema. El biodigestor se terminó de llenar con agua hasta aproximadamente el 80% de su capacidad total, dejando un espacio libre equivalente a una quinta parte del volumen del barril para facilitar la acumulación y liberación de gases durante el proceso de fermentación

(Figura 2 E, F y G). Tanto el barril como la melaza fueron obtenidos de los materiales disponibles en la Estación Experimental y de Prácticas (EEP). La mezcla fue homogenizada, el biodigestor se cerró herméticamente para mantener condiciones anaeróbicas y se almacenó a temperatura ambiente, protegido de la radiación solar directa, durante un período de tres meses (Figura 2 H). Durante este tiempo se desarrolló la fermentación ácido-láctica, proceso en el cual los azúcares presentes en la melaza fueron transformados en ácido láctico, provocando la disminución del pH del sistema. Simultáneamente, las enzimas proteolíticas presentes en las vísceras promovieron la hidrólisis de las proteínas, generando péptidos y aminoácidos solubles que incrementaron el valor agronómico del producto final.



Figura 2 Proceso de recolección y preparación de los subproductos de pescado para la elaboración del biol: A) traslado de los subproductos del pescado (Vísceras y espinas) desde la planta de procesamiento, B) equipo utilizado para el transporte de los subproductos, C) Herramientas empleadas para la construcción del biodigestor, D) Biodigestor finalizado listo para su utilización,

E) Preparación e incorporación de vísceras en el biodigestor, F) Adición de melaza como fuente de carbono para el proceso de fermentación, G) Activación de microorganismos de montaña para favorecer la fermentación, H) mezcla de todos los componentes dentro del biodigestor.

Separación del material sólido y ajuste del proceso de fermentación. Trascurrido un período inicial de tres meses de fermentación, el biodigestor fue abierto para realizar una evaluación organoléptica preliminar del material fermentado, considerando parámetros como consistencia, olor y textura, los cuales funcionaron como indicadores operativos del proceso (Figura 3 A y B).

Posteriormente, se procedió a la separación de la fracción sólida, compuesta por restos de espinas, vísceras y partículas no completamente hidrolizadas, de la fracción líquida. Para ello, el contenido del biodigestor fue trasvasado a recipientes plásticos auxiliares y sometido a un proceso de filtrado utilizando un colador de malla gruesa, permitiendo la separación física del material sólido fermentado. La fracción líquida recuperada fue incorporada al biodigestor previamente lavado (Figura 3 C y D).

Durante la evaluación se detectó la presencia de un olor intenso característico a pescado, lo cual indicó una fermentación incompleta o insuficiente acidificación del medio; Con el objetivo de mejorar la estabilidad del producto, reducir la intensidad del olor residual y favorecer la actividad de bacterias ácido- lácticas, se adicionaron 5 litros más de melaza de caña de azúcar como fuente de carbono. Posteriormente, la mezcla fue homogenizada y el biodigestor fue sellado nuevamente para restablecer condiciones anaeróbicas. Permaneció en reposo durante un periodo adicional de 3 meses, bajo condiciones ambientales y protegido de la radiación solar directa, permitiendo la continuidad del proceso fermentativo, la disminución progresiva del pH y la estabilización del biol previo a su filtrado final (Figura 3 E).

Filtrado final y obtención del biol. Al concluir el segundo período de fermentación, el contenido del biodigestor fue sometido a un filtrado fino utilizando malla de menor apertura, con el fin de separar completamente la fracción líquida del residuo sólido remanente. Como resultado del proceso, el volumen final del contenido del barril se redujo

aproximadamente a la mitad de su capacidad inicial, debido a la degradación del material sólido y a la separación de fracciones no solubles (Figura 3 F).

Envasado y almacenamiento. Se obtuvo un volumen total de 56.77 litros de biol, el cual fue inicialmente almacenado en tres recipientes plásticos con capacidad de cinco galones cada uno. Posteriormente, el producto fue trasvasado a botellas de vidrio de 500 ml, previamente lavadas y secadas (Figura 3 G).

Las botellas fueron almacenadas en condiciones ambientales controladas, protegidas de la luz directa. El uso de envases herméticos permitió conservar la estabilidad del producto, minimizar el riesgo de contaminación externa y prolongar su vida útil.



Figura 3 Etapas finales del proceso de obtención y acondicionamiento del biol a partir de vísceras de pescado: A) sólidos provenientes de las vísceras durante la fermentación del biol, B) Presencia de aceite liberado de las vísceras durante la fermentación del biol, C) separación de las fracciones sólida y líquida del biol, D) fracción sólida resultante del proceso, E) incorporación de melaza como insumo complementario, F) filtrado del biol mediante malla fina para eliminar partículas sólidas., G) envasado del producto final obtenido.

4.5. Elaboración de harina a partir de espinas de pescado.

El proceso de elaboración de harina a partir de espinas de pescado se desarrolló mediante una serie de operaciones unitarias orientadas a la estabilización del material, reducción de humedad y obtención de un producto sólido homogéneo, apto para su conservación y posible uso agroindustrial.

Cocción y secado de las espinas de pescado. Una vez obtenida la materia prima, se destinaron 7.67 libras de espinas de pescado para el proceso de transformación.

Como primera etapa, las espinas fueron sometidas a cocción en agua a una temperatura entre 90 – 95°C durante 30 minutos. Esta operación tuvo como finalidad eliminar restos de tejido blando adherido, reducir la carga microbiana inicial y facilitar las etapas posteriores de secado y molienda, contribuyendo así a la estabilidad del producto final.

Posteriormente, las espinas cocidas fueron colocadas sobre una bandeja de aluminio limpia y seca; Y expuestas a secado solar. El proceso se realizó durante un periodo total de 30 días, distribuidos en 15 días por cada lado, volteando el material periódicamente para garantizar un secado uniforme y maximizar la reducción del contenido de humedad (Figura 4 A).

Transcurrido el período de secado, el peso final registrado fue de 2.3 libras, lo que evidenció una reducción significativa de humedad respecto al peso inicial, favoreciendo la conservación y estabilidad del material previo a la etapa de molienda (Figura 4 B).

Proceso de molienda y envasado de harina de espinas de pescado. Una vez concluido el proceso de secado solar y alcanzado un estado de deshidratación adecuado (evidenciado por la textura rígida y quebradiza de las espinas), el material fue sometido a molienda manual, esta operación se realizó utilizando un mortero de piedra, aplicando presión mecánica progresiva hasta lograr la fragmentación total del material y la obtención de un polvo fino y homogéneo. Posteriormente, el producto molido fue tamizado mediante una malla No. 14 (aproximadamente 1.4 mm de abertura), con el objetivo de eliminar partículas de mayor tamaño y garantizar una granulometría uniforme. Las fracciones retenidas en el tamiz fueron retiradas para no afectar la consistencia deseada (Figura 4 C). El peso final del

producto, determinado después del tamizado fue de 2.1 libras de harina de espinas de pescado, correspondiente al rendimiento neto de la etapa de molienda. Este peso representa la fracción sólida estabilizada y apta para su almacenamiento y uso agroindustrial (Figura 4 D y E).

La harina obtenida fue envasada en bolsas de polipropileno con capacidad de 1 libra seleccionadas por su resistencia mecánica y su capacidad de protección frente a factores ambientales como humedad, polvo y contaminación externa.

Cada bolsa fue debidamente rotulada con la identificación del producto y almacenado en condiciones ambientales secas, asegurando su estabilidad y conservación hasta su utilización.



Figura 4 Proceso de elaboración de la harina de espinas de pescado mediante secado solar y molienda. A) secado solar de las espinas de pescado para la reducción del contenido de humedad, B) determinación del peso de las espinas después del proceso de secado, C) tamizado de las espinas molidas para separar fragmentos de mayor tamaño, D) producto final correspondiente a la harina de espinas de pescado, E) determinación del peso final de la harina obtenida.

4.6. Metodología de gabinete

Para complementar el análisis experimental, se implementó una metodología de gabinete basada en la aplicación de un instrumento de evaluación técnica del proceso de elaboración del biol y harina de pescado (Anexo 1). El instrumento utilizado correspondió a un cuestionario estructurado con escala tipo Likert, diseñado para valorar la viabilidad técnica, operativa y de seguridad de ambos procesos productivos.

Descripción del instrumento. El cuestionario fue diseñado con el propósito de evaluar integralmente la factibilidad de los procesos desarrollados, considerando su posible replicabilidad por estudiantes, productores independientes o personas sin acceso a infraestructura industrial especializada:

- Factibilidad técnica y disponibilidad de materiales
- Facilidad de obtención de materia prima
- Manipulación y riesgos asociados al proceso

Se utiliza una escala de valoración de cinco niveles (Cuadro 3), donde:

Cuadro 3 escala de valoración utilizada en el instrumento de evaluación.

Valor	Interpretación
1	Muy deficiente
2	Deficiente
3	Aceptable
4	Buena
5	Excelente

Elaborado por el autor.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. Caracterización del biol elaborado a partir de vísceras de pescado.

Se analizaron las propiedades fisicoquímicas de biol elaborado a partir de vísceras de pescado y se compararon con un biofertilizante de tipo comercial Supermagro, evaluando pH, conductividad eléctrica (CE), sólidos totales disueltos (STD), magnesio (Mg), nitrógeno total (N), fósforo (P) y potasio (K).

Los resultados obtenidos se presentan en el Cuadro 4, elaborada a partir del informe oficial del Departamento de Química Agrícola de la Universidad de El Salvador (Anexo 3).

Cuadro 4 Resultados del análisis químico del biol de vísceras de pescado y Supermagro.

Parámetro	Unidad	Biol de vísceras (MXU015)	Supermagro (MXU016)
pH	-	4.49	5.13
Conductividad eléctrica (CE)	$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	8040	9380
Sólidos totales disueltos (STD)	$\text{Mg}\cdot\text{L}^{-1}$	4020	4540
Magnesio (Mg)	$\text{Mg}\cdot\text{L}^{-1}$	53.13	131.35
Nitrógeno total (N)	%	0.75	0.10
Fósforo (P)	$\text{Mg}\cdot\text{L}^{-1}$	880.36	13925.29
Potasio (K)	$\text{Mg}\cdot\text{L}^{-1}$	7705.37	2225.70

Fuente: Informe de resultados de análisis 2026, Universidad de El Salvador.

El biol elaborado a partir de vísceras de pescado presentó un pH ácido (4.49), inferior al del Supermagro (5.13). Este valor confirmó que el proceso de fermentación ácido- láctica fue efectivo, ya que un pH menor a 4.5 según la FAO, 2018, contribuye a la estabilidad microbiológica al inhibir el crecimiento de microorganismos patógenos y de putrefacción.

Resultados similares han sido reportados para ensilados y bioles derivados de subproductos pesqueros, donde la producción de ácido láctico durante la fermentación reduce el pH y garantiza la conservación del producto y su seguridad agronómica (FAO, 2018; Vidotti et al., 2003).

La conductividad eléctrica del biol de vísceras fue de $8040\ \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, valor inferior al observado en el Supermagro ($9380\ \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$). Este comportamiento se reflejó también en

los sólidos totales disueltos, con $4020 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ para el biol de pescado y $4540 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ para el Supermagro. Estos resultados indicaron que, aunque ambos productos poseen una alta concentración de sales solubles, el biol de vísceras presenta menor riesgo de salinización, siempre que se aplique adecuadamente diluido. La literatura señala que biofertilizantes con conductividad eléctrica elevada deben emplearse en bajas concentraciones para evitar estrés osmótico y posibles efectos fitotóxicos en las plantas (Du Jardin, 2015).

El biol de vísceras presentó un contenido de nitrógeno total de 0.75%, valor significativamente superior al del Supermagro (0.10%). Este resultado se atribuyó a la hidrólisis de proteínas presentes en las vísceras, promovida por la acción conjunta de enzimas digestivas y microorganismos fermentativos, liberando aminoácidos y nitrógeno orgánico soluble (Vidotti et al., 2003). Este comportamiento coincide con lo reportado en la literatura, donde los hidrolizados de origen animal son reconocidos por su alto contenido de nitrógeno orgánico y su efecto bioestimulante sobre el crecimiento vegetal (Calvo et al., 2014).

El Supermagro presentó un mayor contenido de fósforo ($3925.29 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) en comparación con el biol de vísceras ($880.36 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$), lo cual es consistente con la formulación tradicional del Supermagro, que influye fuentes minerales ricas en fósforo.

Por otro lado, el biol de vísceras mostró un contenido elevado de potasio ($7705.37 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$), superando ampliamente al Supermagro ($2225.70 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$). El potasio desempeña un papel esencial en la regulación osmótica, la apertura y cierre estomático y la formación de frutos, lo que representa una ventaja agronómica significativa para cultivos con alta demanda de este nutriente (FAO, 2012).

El contenido de magnesio fue mayor en el Supermagro ($131.35 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) que en el biol de vísceras ($53.13 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$). Este resultado puede atribuirse a la inclusión directa de las sales minerales en la formulación del biofertilizante comercial. El magnesio es un elemento esencial en la molécula de clorofila y participa activamente en procesos enzimáticos relacionados con la fotosíntesis (FAO, 2012).

Los resultados evidenciaron que el biol elaborado a partir de vísceras de pescado presenta un perfil nutricional competitivo, destacándose principalmente por su alto contenido de nitrógeno orgánico y potasio, así como por su pH ácido que garantiza estabilidad y conservación. En comparación con el Supermagro, el biol de vísceras de pescado mostró ventajas asociadas al aprovechamiento de residuos piscícolas, la economía circular y la reducción de insumos extremos, alineándose con enfoques de agricultura sostenible. Estos hallazgos concuerdan con estudios previos que clasifican los bioles de origen animal no solo como fertilizantes orgánicos, sino también como bioestimulantes, debido a la presencia de aminoácidos y compuestos bioactivos. No obstante, se identificó como limitación el menor contenido de fósforo y magnesio, lo cual sugiere la posibilidad de formular mezclas complementarias o estratégicas de aplicación combinada para maximizar el efecto agronómico.

El biol elaborado a partir de vísceras de pescado presentó un pH ácido moderado (4.49), una conductividad eléctrica elevada ($8040 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) y concentraciones significativas de nitrógeno total (0.75%) y potasio ($7705.37 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), lo que evidencia su carácter de biofertilizante concentrado con un potencial bioestimulante. Estas características condicionan tanto el tipo de cultivo como el método de aplicación más adecuado, con el fin de maximizar su eficiencia y minimizar riesgos de fitotoxicidad.

Cálculo del rendimiento volumétrico del biol. Para determinar el rendimiento del biol obtenido durante el proceso de fermentación, se comparó el volumen final producido con la capacidad total del biodigestor utilizado en la investigación.

En este caso, el biol obtenido se recolectó en tres recipientes con capacidad de 5 galones cada uno. Considerando que 1 galón equivale a 3.785 litros, se realizó la conversión del volumen total obtenido a litros.

Conversión del volumen final obtenido

Volumen final = 5 galones x 3 recipientes x 3.785 L/galón

Volumen final= 56.77 litros

Por lo tanto, el volumen total de biol producido fue de 56.77 litros.

Cálculo del rendimiento del biodigestor. El biodigestor utilizado en el proceso tiene una capacidad total de 180 litros, por lo que el rendimiento volumétrico del biol se calculó mediante la siguiente expresión:

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Volumen obtenido}}{\text{Capacidad total del biodigestor}} \times 100$$

Sustituyendo los valores obtenidos:

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{56.77}{180} \times 100$$

$$\text{Rendimiento (\%)} = 31.54\%$$

El rendimiento volumétrico del biol obtenido en este estudio (31.54 %) es consistente con los procesos de fermentación de residuos orgánicos, en los cuales no todo el volumen inicial del biodigestor se transforma en fertilizante líquido. Durante la fermentación anaeróbica, parte de la materia orgánica es degradada por la actividad microbiana, generando gases, compuestos solubles y residuos sólidos que reducen el volumen final recuperado. Asimismo, una fracción del mineral permanece como sedimentos o materia no completamente hidrolizada, mientras que la otra se libera en forma de gases como dióxido de carbono. Por ello, el rendimiento final depende de factores como la composición de la materia prima, la actividad microbiana y las condiciones de fermentación.

5.2. Informe de resultados de análisis de harina de pescado.

El alto contenido de calcio (27.24%) y fósforo (24.71%) determinado en la harina de espinas de pescado confirma que este subproducto constituye una fuente mineral concentrada, principalmente asociada a la fracción ósea compuesta por fosfato de calcio (Hidroxiapatita). Diversos estudios señalan que las espinas de pescado contienen elevadas concentraciones

de calcio y fósforo debido a su composición estructural mineral, lo que respalda su potencial uso como enmienda agrícola y fuente alternativa de fósforo en sistemas productivos sostenibles (FAO, 2012; Villamil et al., 2017).

Cuadro 5 Resultados de análisis químico de harina de pescado.

Determinación			
	Ca (%)	Mg (%)	P (%)
Código	Muestras		
MXU01	27.24	0.36	24.71
Metodología	AA- Llama	AA- Llama	UV
Observación	N/A		

Fuente: Informe de resultados de análisis 2026, Universidad de El Salvador.

El contenido de magnesio (0.36%) se encuentra dentro de los valores esperados para subproductos óseos, ya que este elemento forma parte de la matriz mineral en menor proporción que el calcio y fósforo. El magnesio cumple un papel fundamental en la nutrición vegetal al formar parte de la molécula de clorofila y participar en procesos enzimáticos relacionados con la fotosíntesis (Havlin et al., 2014) (Anexo 2).

Estos resultados indican que la harina de espinas presenta un perfil mineral altamente concentrado, lo cual la posiciona como una alternativa viable para el aporte de calcio y fósforo en suelos agrícolas, especialmente en sistemas de producción orgánica donde se busca reducir la dependencia de fertilizantes sintéticos (FAO, 2018) (Cuadro 5).

Cálculo del rendimiento de la harina de espinas de pescado. Para determinar el rendimiento del proceso de obtención de la harina de espinas de pescado, se comparó el peso del producto obtenido después del proceso de secado, molienda y tamizado con el peso inicial de las espinas cocidas utilizadas como materia prima. Este cálculo permite evaluar la eficiencia del proceso de transformación y el grado de aprovechamiento de los subproductos piscícolas.

El rendimiento se calculó mediante la siguiente expresión:

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{peso del producto final}}{\text{peso de la materia prima inicial}} \times 100$$

Donde:

- peso inicial: espinas cocidas utilizadas en el proceso
- peso final: harina de espinas obtenidas después del tamizado

En el presente estudio, el peso inicial de las espinas cocidas fue de 7.67 libras, mientras que el peso final de la harina tamizada fue de 2.1 libras.

Sustitución de valores

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{2.1}{7.67} \times 100$$

$$\text{Rendimiento (\%)} = 0.273 \times 100$$

$$\text{Rendimiento (\%)} = 27.37\%$$

El resultado obtenido indica que el proceso de transformación de las espinas de pescado generó un rendimiento final de 27.37% de harina de espinas con respecto al peso inicial de la materia prima utilizada. La reducción de peso observada durante el proceso se debe principalmente a la pérdida de humedad durante el secado solar, así como a la eliminación de partículas de mayor tamaño durante el proceso de tamizado. Estos procesos permiten concentrar los minerales presentes en las espinas, especialmente calcio y fósforo, obteniendo un producto final más seco, estable y apto para su uso como insumo en aplicaciones agroindustriales.

5.3. Resultados del instrumento de evaluación técnica aplicado a los procesos de elaboración de biol y harina de pescado.

Cada indicador fue evaluado para los procesos de elaboración de biol y harina de pescado mediante el instrumento de evaluación tipo cuestionario (Anexo 1). Los resultados permitieron comparar el desempeño de ambos procesos según distintos indicadores técnicos, ofreciendo una visión general sobre su aplicabilidad, facilidad de implementación y condiciones de seguridad a pequeña escala (Cuadro 6).

Cuadro 6 Matriz de indicadores y resultados de biol y harina de pescado.

Criterio	Indicador	Biol (1-5)	Harina (1-5)	Observaciones técnicas
Ap I. Factibilidad técnica	Disponibilidad de materiales	4	5	Harina requiere menos insumos específicos.
	Accesibilidad del equipamiento	4	4	Ambos pueden realizarse con herramientas básicas.
	Complejidad operativa	3	4	El biol requiere mayor control de fermentación.
	Replicabilidad a pequeña escala	4	4	Ambos procesos son escalables artesanalmente.
	Relación costo-beneficio	4	4	Costos bajos en comparación con fertilizantes comerciales.
Ap II. Obtención de materia prima	Disponibilidad constante	4	4	Depende de la actividad piscícola local.
	Facilidad de recolección	4	4	Requiere coordinación con planta procesadora.
	Transporte de subproductos	4	4	Logísticamente viable a corta distancia.
	Conservación previa	3	4	Vísceras son más perecederas que espinas.
	Volumen suficiente para producción	4	4	La industria genera cantidades aprovechables.
Ap III. Manipulación y riesgos	Riesgo microbiológico	3	4	Biol requiere mayor control sanitario.
	Riesgo por acumulación de gases	3	5	Solo aplica al biol por fermentación anaeróbica.
	Riesgo de contaminación	4	3	Secado solar puede exponer espinas a contaminantes.
	Seguridad en manipulación	4	4	Requiere medidas básicas de protección.
	Seguridad general del proceso	4	4	Seguro bajo condiciones controladas.
Total		56	62	
Promedio		3.73	4.13	

Elaborado por el autor.

Determinación de la factibilidad técnica global de cada proceso. Para interpretar los resultados obtenidos mediante el instrumento de evaluación, se aplicó la medida de tendencia central correspondiente al promedio o media aritmética, la cual permite identificar el nivel general de valoración de cada proceso evaluado.

Este resultado indica que el proceso de elaboración del biol presenta una valoración promedio de 3.73, lo cual se interpreta dentro de la escala utilizada como un nivel entre aceptable y bueno. Este comportamiento refleja que el proceso es técnicamente viable, aunque requiere de mayor control operativo en aspectos relacionados con la fermentación anaeróbica, la estabilidad microbiológica y el manejo de las vísceras como materia prima.

El valor obtenido correspondiente a la harina obtuvo una valoración buena, lo cual evidencia que el proceso presenta mayor facilidad técnica y operativa, principalmente debido a la simplicidad de las etapas involucradas, como el secado solar, la molienda y el tamizado, así como a la menor presencia de riesgos microbiológicos en comparación con los procesos de fermentación.

En términos comparativos, los resultados muestran que la harina de espinas de pescado presenta una mayor factibilidad técnica global que el biol, con una diferencia promedio de 0.40 puntos en la escala de evaluación. No obstante, ambos procesos presentan valores superiores a 3.5, lo que indica que técnicamente son viables y pueden implementarse a pequeña escala bajo condiciones controladas, especialmente en contextos donde se busca valorizar subproductos derivados de la industria piscícola.

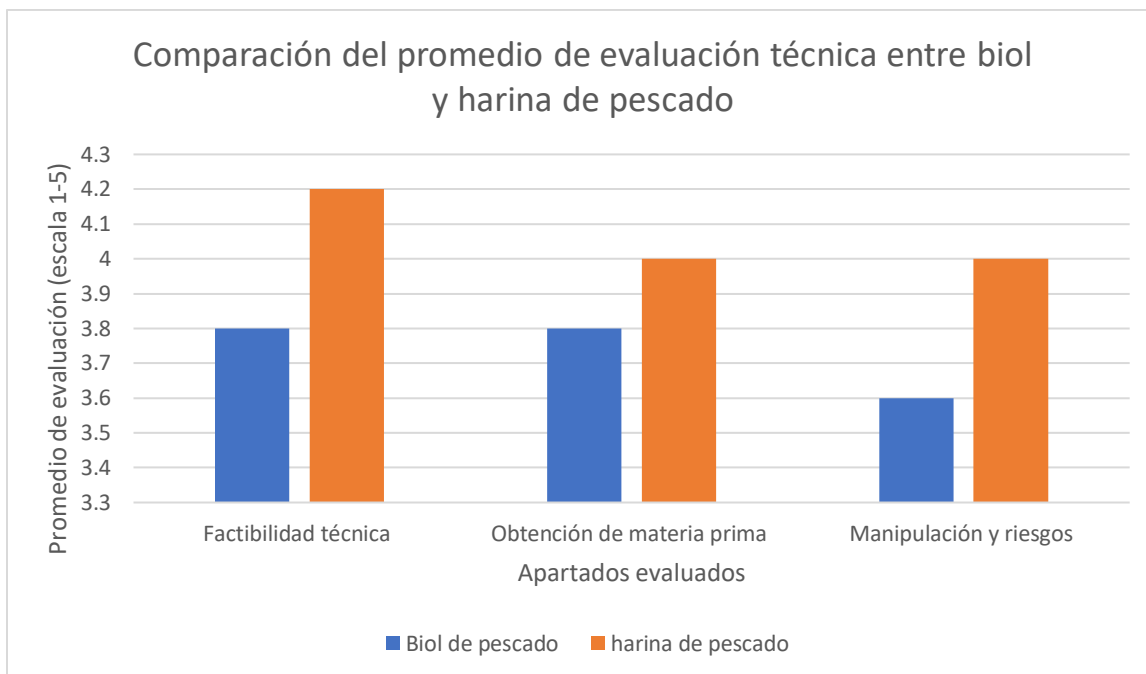


Figura 5 Comparación del promedio de evaluación obtenido para los procesos de elaboración de biol y harina de pescado en los apartados de factibilidad técnica, obtención de materia prima y manipulación y riesgos.

La Figura 5 muestra la comparación de los promedios obtenidos en los tres apartados evaluados. Los resultados indican que el proceso de elaboración de harina de espinas de pescado presenta valores ligeramente superiores en los tres criterios analizados, particularmente en el apartado de factibilidad técnica, donde alcanzó un promedio de 4.2; Por su parte, el biol presento valores entre 3.6 y 3.8, lo que refleja una factibilidad técnica aceptable, aunque con mayores requerimientos de control en aspectos relacionados con la fermentación y la manipulación del material orgánico.

5.3.1. Comparación de datos sobre harina de hueso y harina de pescado.

En resumen, la harina de pescado analizada se comporta como una enmienda mineral fosfo-cálcica, porque Ca (27.24%) y P (24.71%) son muy altos en relación con reportes típicos de harina tipo MBM usada como fertilizante (Ca ~ 10%, P ~5%).

Por otra parte, el Mg (0.36%), aunque es menor que Ca y P, sí aparece en niveles mayores que lo reportado para MBM (<0.0001 %), lo cual puede ser una ventaja secundaria en suelos/ cultivos con demanda de Mg (Cuadro 7).

Cuadro 7 Matriz de comparación pros y contra de harina de pescado y harina de hueso.

Criterio	Harina de espina de pescado (muestra)	Harina de hueso (referencia literaria)	Pros (ventaja)	Contra (limitaciones /riesgos)
Calcio (Ca %)	27.24	≈ 10% (MBM) / ≈ 25.4% (ceniza de hueso). (Havlin et al., 2014; Kivelä, 2016)	La harina de pescado es muy alta en Ca útil para la corrección de suelos ácidos y cultivos con alta demanda de Ca (calidad de tejidos, firmeza)	Dosis altas pueden desbalancear la relación Ca:Mg:K y elevar pH si se usa en exceso (depende del suelo).
Fósforo (P %)	24.71	≈ 5% (MBM) / ≈ 17.4% (ceniza de hueso). (Havlin et al., 2014; Guasiatin et al., 2020).	Presenta P muy alto, potencial como fuente fosfatada orgánica/mineral para raíces, floración y energía (ATP).	El P en harinas óseas suele estar en formas poco solubles, su disponibilidad depende de pH del suelo, humedad y microbiota.
Magnesio (Mg %)	0.36	Muy bajo (< 0.001% en MBM). (Havlin et al., 2014).	La harina de pescado aporta Mg en una proporción mayor que la reportada para MBM, puede apoyar fotosíntesis como nutriente secundario.	Aun así, Mg es relativamente bajo vs necesidades totales del cultivo; puede requerir complementación si el suelo es deficiente.
Perfil esperado como enmienda	Predominio de fracción mineral rica en Ca y P.	Variable: MBM incluye fracción orgánica + ósea; la ceniza es principalmente mineral.	Se perfila como enmienda mineral (tipo fosfo- cálcica)	La variabilidad del material (origen/ proceso) puede cambiar el perfil; conviene estandarizar lote o describir rangos.
Riesgo sanitario / estabilidad	Alta estabilidad cuando el material se encuentra adecuadamente seco.	MBM puede requerir controles por su origen; la ceniza es más estable.	El secado reduce actividad microbiana y favorece almacenamiento.	Si el secado no fue uniforme, puede haber riesgo de olor, humedad residual o deterioro.

Nota: MBM (Meat and Bone Meal) harina obtenida del procesamiento de tejido de animales y huesos, utilizada comúnmente como fertilizante orgánico o suplemento mineral debido a su contenido de calcio y fósforo.

6. CONCLUSIONES

Los productos de la industria piscícola, específicamente vísceras y espinas de tilapia (*Oreochromis spp.*), presentan un alto potencial para su aprovechamiento agroindustrial mediante la elaboración de biol y harina de espinas de pescado, lo que contribuye a la valorización de residuos y al enfoque de economía circular en el sector pesquero.

El biol obtenido a partir de vísceras de pescado mediante fermentación ácido- láctica demostró ser un insumo orgánico viable para su uso como biofertilizante, presentando un rendimiento volumétrico de 31.54%, resultado acorde con procesos de fermentación anaeróbica donde parte de la materia orgánica se transforma en gases y sedimentos durante la degradación microbiana.

Los análisis químicos realizados evidenciaron que la harina de espinas de pescado posee altas concentraciones de calcio (27.24%) y fósforo (24.71%), lo que confirma su potencial como enmienda mineral fosfocálcica para suelos agrícolas, especialmente en sistemas de producción orgánica que buscan reducir el uso de fertilizantes sintéticos.

La evaluación técnica de los procesos mediante el instrumento aplicado mostró que ambos procesos son técnicamente viables a pequeña escala, obteniendo valores promedio superiores a 3.5 en la escala de evaluación, lo que indica un nivel de factibilidad aceptable para su implementación en contextos agroindustriales o productivos.

De manera comparativa, el proceso de elaboración de harina de espinas de pescado presentó una mayor factibilidad técnica (4.13) en relación con el biol (3.73), debido principalmente a la simplicidad operativa del proceso, menor riesgo microbiológico y menor necesidad de control durante su elaboración.

En términos generales, los resultados obtenidos demuestran que la transformación de subproductos piscícolas en insumos orgánicos agrícolas representa una alternativa viable para el manejo sostenible de residuos de la industria pesquera, contribuyendo simultáneamente a la reducción de impactos ambientales y a la generación de productos de valor agronómico.

7. RECOMENDACIONES

Evaluar el efecto agronómico del biol y la harina de espinas de pescado en cultivos agrícolas, mediante ensayos de campo que permitan determinar su impacto en el crecimiento, rendimiento y calidad de cultivos.

Analizar la disponibilidad real de los nutrientes en el suelo, especialmente fósforo y calcio presentes en la harina de espinas, para determinar su eficiencia como fuente nutricional en diferentes tipos de suelos.

Optimizar las condiciones del proceso de fermentación del biol, particularmente en aspectos relacionados con el control de la fermentación, manejo de la materia prima y estabilidad microbiológica, con el fin de mejorar la eficiencia del proceso y la calidad del producto final.

Promover el aprovechamiento de subproductos piscícolas en pequeñas agroindustrias y sistemas productivos locales, como estrategia para reducir la generación de residuos orgánicos y fomentar prácticas sostenibles dentro del modelo de economía circular.

Fomentar la transferencia de estas tecnologías a productores, estudiantes y emprendimientos agroindustriales, debido a que los procesos evaluados pueden implementarse con equipamiento básico y a pequeña escala.

8. BIBLIOGRAFÍAS

- Ananey-Obiri, D., & Tahergorabi, R. (2018). Aprovechamiento de subproductos del procesamiento de pescado y sus aplicaciones funcionales. *Journal of Food Engineering*.
- Batista, I. (1986). *Silaje de pescado: Preparación y usos*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).
- Bhattacharya, A. (2022). Fish processing wastes: Environmental impacts and sustainable management. *International Journal of Agriculture and Horticulture*.
- Calvo, P., Nelson, L., & Kloepper, J. W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*, 383(1–2), 3–41. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8>
- Colla, G., Roupael, Y., Canaguier, R., Svecova, E., & Cardarelli, M. (2014). Biostimulant action of a plant-derived protein hydrolysate produced through enzymatic hydrolysis. *Frontiers in Plant Science*, 5, 448. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00448>
- Domínguez, H., et al. (2024). Hidrolizados de vísceras de pescado y su uso como bioestimulantes para plantas: Una revisión.
- Du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196, 3–14. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>
- European Parliament & Council of the European Union. (2019). *Regulation (EU) 2019/1009 on EU fertilising products*. EUR-Lex.
- FAO. (2012). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- FAO. (2013). *Utilización del ensilado de pescado en la alimentación animal y la agricultura*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

- FAO. (2018). *The state of world fisheries and aquaculture 2018 – Meeting the sustainable development goals*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. (2020). *La economía circular en la pesca y la acuicultura*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Florez – Jalixto, M. (2017). Aprovechamiento de residuos pesqueros como biofertilizantes y bioestimulantes en la agricultura. *Scientia Agropecuaria*.
- García-González, J., & Sommer, M. (2019). Biofertilizantes líquidos y su impacto en la conductividad eléctrica del suelo. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*, 19(2), 101–112.
- Gusiatin, Z. M., Kowalski, Z., Konieczny, K., Waclawek, S., & Bakalár, T. (2020). Phosphorus recovery from ashes after poultry feather gasification: Environmental and agricultural perspectives.
- Havlin, J. L., Tisdale, S. L., Nelson, W. L., & Beaton, J. D. (2014). *Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management* (8th ed.). Pearson.
- Hawkesford, M., Horst, W., Kichey, T., Lambers, H., Schjoerring, J., & Møller, I. S. (2012). Functions of macronutrients. En P. Marschner (Ed.), *Mineral nutrition of higher plants* (pp. 135–189). Academic Press.
- Khairul, U. T., et al. (2025). Evaluación de la composición mineral en harina de hueso de pescado como fertilizante orgánico para un entorno sostenible. *Current World Environment*.
- Kivelä, J. (2016). Effects of meat bone meal as fertilizer on leaf nitrogen status in sugar beet and on soil nitrate concentrations. *Acta Fytotechnica et Zootechnica*.
- Kristinsson, H. G., & Rasco, B. A. (2000). Fish protein hydrolysates: Production, biochemical and functional properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 40(1), 43–81. <https://doi.org/10.1080/10408690091189266>

- Libonatti, C. C. (2023). Silaje de residuos de pescado: un proceso “verde” para materias primas de bajo costo (revisión).
- Marschner, P. (2012). *Mineral nutrition of higher plants* (3rd ed.). Academic Press.
- Nawaz, A., Irshad, S., & Hussain, S. (2020). Utilización biotecnológica de subproductos de pescado en la industria alimentaria y agrícola. *Journal of Marine Science and Engineering*.
- Roldán, A., Díaz-Vivancos, P., Hernández, J. A., & Caravaca, F. (2016). Aplicación de biofertilizantes orgánicos y su efecto sobre la salinidad del suelo y el crecimiento vegetal. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 231, 234–242. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.07.012>
- Szopa, D., et al. (2025). Optimized zero-waste valorization of fish processing by-products. *Journal of Cleaner Production*.
- Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., & Befort, B. L. (2011). Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(50), 20260–20264. <https://doi.org/10.1073/pnas.1116437108>
- Toppe, J., Olsen, R. L., Peñarubia, O. R., & James, D. G. (2018). *Producción y utilización de ensilado de pescado*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).
- Vidotti, R. M., Viegas, E. M. M., & Carneiro, D. J. (2003). Amino acid composition of processed fish silage using different raw materials. *Animal Feed Science and Technology*, 105(1–4), 199–204.
- Villamil, O., Váquiro, H., & Solanilla, J. F. (2017). Fish viscera protein hydrolysates: Production, potential applications and functional and bioactive properties. *Food Chemistry*, 224, 160–171. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.12.057>

Yusoff, M. A., et al. (2024). Valorización de residuos de mariscos: revisión de estudios de ACV en biorrefinerías de residuos marinos. *Science of the Total Environment*.

9. ANEXOS

Anexo 1. Instrumento de evaluación técnica del proceso de elaboración de biol y harina de subproductos de pescado.

Instrucciones: Lea cuidadosamente cada una de las siguientes afirmaciones y marque la opción que mejor represente su valoración de acuerdo con la escala Likert (Cuadro 3).

Apartado I. Factibilidad técnica y disponibilidad de materiales

N°	Preguntas	1	2	3	4	5
1	Los materiales e insumos necesarios para la elaboración del biol y la harina pueden ser adquiridos fácilmente por un estudiante o productos independiente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	El equipamiento utilizado en el proceso (barril, válvulas, mangueras, mortero, bandejas, entre otros) es accesible y funcional para su uso fuera de una planta industrial.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	La tecnología empleada puede ser implementada por personas con conocimientos básicos en agroindustria o producción orgánica.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	El proceso puede replicarse a pequeña escala sin requerir maquinaria especializada o infraestructura industrial.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	La relación costo- beneficio del proceso es favorable para su adopción por pequeños productores o estudiantes.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Apartado II. Factibilidad de obtención de materia prima





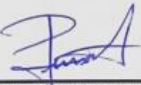
N°	Preguntas	1	2	3	4	5
1	Las vísceras y espinas de pescado pueden obtenerse de manera viable por parte de estudiantes o productores locales.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	La recolección de los subproductos puede realizarse sin afectar la actividad principal de la industria piscícola.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	El transporte de la materia prima puede realizarse con recursos logísticos básicos.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	El manejo y conservación temporal de la materia prima puede realizarse sin afectar la calidad del material recolectado.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

5	El volumen de subproductos disponibles permite desarrollar el proceso a escala piloto o artesanal.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
---	--	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------


Apartado III. Manipulación y riesgos del proceso.

N°	Preguntas	1	2	3	4	5
1	El proceso de fermentación puede controlarse adecuadamente por personas sin experiencia industrial avanzada.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Los riesgos microbiológicos asociados al manejo de vísceras pueden gestionarse con medidas básicas de bioseguridad.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	El secado solar de espinas puede realizarse bajo condiciones controladas son generar contaminación significativa.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	La manipulación del biol y la harina requiere únicamente medidas estándar de seguridad personal.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	El proceso general puede considerarse seguro cuando se siguen los procedimientos establecidos en esta investigación.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>


Anexo 2. Informe de resultados de análisis para harina de pescado

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS DEPARTAMENTO DE QUIMICA AGRICOLA		
Calle 25 Av. Norte, Ciudad Universitaria, Apdo. Postal N° 747 y 773, Tel. 2225-15 06. Tel. 222			
INFORME DE RESULTADOS DE ANALISIS			
<hr/>			
Identificación de muestra:	Harina de pescado		
Código Interno:	MXU01		
Tipo de muestra:	Harina de pescado		
Nombre del Cliente:	Paola Michelle Montoya López		
Análisis solicitado:	Ca, Mg, P		
Fecha de recepción:	30/1/2026		
Fecha de análisis:	30/1/2026		
	Determinación		
	Ca	Mg	P
	%	%	%
Código	Muestras		
MXU01	27.24	0.36	24.71
Metodología	AA - Llama	AA - Llama	UV
Observación: N/A			
Fecha de elaboración de informe:	6/2/2026		
"HACIA LA LIBERTAD POR LA CULTURA"			
			
MSc. Freddy Alexander Carranza Jefe del Departamento de Química Agrícola		MSc. Guillermo Jacob Pineda Magaña Responsable de Laboratorio - Analista	

Anexo 3. Informe de resultados de análisis de biol de vísceras de pescado y biofertilizante Supermagro.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS
 DEPARTAMENTO DE QUIMICA AGRICOLA
 Final 25 Av. Norte, Ciudad Universitaria, Apdo. Postal N° 747 y 773, Tel. 2225-15 06. Tel. 2226-2043



INFORME DE RESULTADOS DE ANALISIS

Identificación de muestra: Biol de vísceras de pescado Supermagro

Código Interno: MXU015 MXU016

Tipo de muestra: Biol, supermagro

Nombre del Cliente: Paola Michelle Montoya López

Análisis solicitado: pH, CE, STD, N, P, K, Mg

Fecha de recepción: 7/10/2025


Fecha de análisis: 7/10/2025

Código	Determinación						
	pH	CE	STD	Mg	N	P	K
	ppm	µS/cm	ppm	ppm	%	ppm	ppm
	Muestras						
MXU015	4.49	8040	4020	53.13	0.75	880.36	7705.37
MXU016	5.13	9380	4540	131.35	0.10	13925.29	2225.70
Metodología	Potenciométrico	Potenciométrico	Potenciométrico	AA	Micro Kjeldahl	UV	AA


Observación: N/A

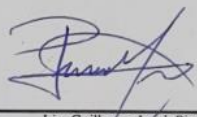
Fecha de elaboración de informe: 28/10/2025

"HACIA LA LIBERTAD POR LA CULTURA"



MSc. Freddy Alexander Carranza
Jefe del Departamento de Química Agrícola





Lic. Guillermo Jacob Pineda
Responsable de Laboratorio