



**Cooperativa:
"Planta comunitaria para el secado de productos pesqueros
operada con energía termosolar para su integración en
comunidades rurales"**

MANUAL DE PROCESO DE ELABORACIÓN DE BIOFERTILIZANTE



Planta comunitaria para el secado de productos pesqueros operada con energía termosolar para su integración en comunidades rurales.

Contenido

INTRODUCCIÓN	2
Insumos permitidos en la agroecología, cultivo orgánico y el convencional. ...	3
DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.....	5
Materiales y procedimientos para la elaboración del biofertilizante líquido	6
Materiales, equipos e Insumos	6
ETAPA 1: DE LA OBTENCIÓN Y SEPARACIÓN DE LOS SOLUBLES DE PESCADO.....	9
ETAPA 2: FERMENTACIÓN LÁCTICA.....	9
ETAPA 3: HIDRÓLISIS ÁCIDA	9
ETAPA 4: NEUTRALIZACIÓN	10
ETAPA 5: CONTROL DE CALIDAD Y ENVASADO	12
Control de calidad de la neutralización del biofertilizante con KOH.....	12
Solidos totales	13
Consideraciones adicionales:	13
RECOMENDACIONES DE USO Y APLICACIÓN.....	14
Métodos de aplicación en campo:	15
CONCLUSIONES.....	15
REFERENCIAS.....	16

INTRODUCCIÓN

Diversas biomásas que constituyen residuos pueden resultar en productos de valor agregado a través de procesos innovadores, tras convertirse en valiosos fertilizantes, promoviendo la sostenibilidad y apoyando la economía circular. Los biofertilizantes basados en residuos alimentarios podrían contribuir a aumentar los rendimientos, los nutrientes y la materia orgánica, así como a mitigar los efectos adversos de los fertilizantes sintéticos.

Un ejemplo de residuos generados por procesamiento en agroindustrias son los sueros lácteos, los cuales han sido aprovechados como fertilizantes por el alto contenido de materia orgánica, como nitrógeno, fósforo y potasio, los convierte en una fuente potencial de nutrientes para las plantas. Además de lo anterior, los tratamientos de agua para estos residuos resultan complicados por sus altas DBOs y DQOs lo que los hace resistentes a la biodegradación (Gil et al., 2024).

La hidrólisis, tanto química como enzimática, son métodos clave para el tratamiento de residuos y su transformación en fertilizantes. La hidrólisis química utiliza ácidos o bases fuertes para descomponer las proteínas en aminoácidos, mientras que la hidrólisis enzimática utiliza enzimas para convertir las estructuras orgánicas en formas asimilables por las plantas, aunque ambos facilitan la obtención de fertilizantes a base de aminoácidos, estimuladores naturales del crecimiento vegetal abren un nuevo campo de investigación para reducir la cantidad de residuos sin utilizar y producir fertilizantes valiosos.

En los biofertilizantes a base de residuos alimentarios y compostaje aeróbico están presentes grandes comunidades microbianas y diversas composiciones de nutrientes, que son cruciales para la fertilidad del suelo. Los microorganismos de vida libre son responsables de la formación de sideróforos, la fijación de nitrógeno N, la actividad de solubilización de fosfato P, potasio K y zinc Zn, estos mecanismos pueden aumentar significativamente las actividades de promoción del crecimiento de las plantas (Illera-Vives et al., 2015).

Los solubles de pescado, un subproducto líquido resultante del procesamiento del pescado para la obtención de harina de pescado, resultante de la torta de prensado, un proceso que implica calentar los residuos de pescado a altas temperaturas para extraer aceites y eliminar bacterias. Como resultado, los solubles de pescado contienen una alta concentración de nutrientes solubles en agua, como nitrógeno y fósforo, que son esenciales para el crecimiento de las plantas (Ahuja et al., 2020).

Los solubles de pescado se pueden utilizar en la producción de una variedad de fertilizantes, incluyendo fertilizantes líquidos, hidrolizado de pescado y el fertilizante TRS, que combina solubles de pescado con proteínas y cenizas, caracterizándose por una rápida liberación de nutrientes, lo que los convierte en una fuente eficaz de nutrientes a corto plazo para las plantas.

Estudios han demostrado que la aplicación de fertilizantes a base de solubles de pescado puede mejorar el crecimiento y rendimiento de una variedad de cultivos, incluyendo tomates, lechuga y maíz (Kalbani et al., 2016).

Si bien los solubles de pescado ofrecen una fuente prometedora de nutrientes para la agricultura, existen algunas consideraciones importantes. Es posible que la disponibilidad

a largo plazo de los nutrientes de los solubles de pescado no sea suficiente para satisfacer las necesidades de los cultivos durante todo su ciclo de crecimiento. Además, el costo de producción y la logística de transporte pueden ser factores limitantes para su adopción generalizada. A pesar de estas limitaciones, los solubles de pescado representan una alternativa sostenible y valiosa a los fertilizantes minerales tradicionales, particularmente en la agricultura orgánica, donde se busca promover el reciclaje de nutrientes y la reducción del impacto ambiental.

un fertilizante organomineral líquido a base de solubles de pescado, proteínas y ceniza, clasificado como un subproducto animal fue caracterizado por bajas tasas de respiración (0-20%) y altos niveles iniciales de Nitrógeno mineral, lo que lleva a altos valores de N min-N al principio de la incubación. Sin embargo, a partir del día 28, se observa una disminución rápida del nitrógeno amoniacal disuelto en el suelo junto con bajas tasas de respiración. Esto indica un predominio de procesos de eliminación de este, como la nitrificación, la volatilización y la inmovilización, sobre la amonificación. El estudio indica que entre diversos biofertilizantes estudiados a base de otros residuos como plantas y de otros animales, este presenta la tasa de extracción de nitrógeno más alta, lo que refleja su alta solubilidad y la rápida liberación de nutrientes (Agostini et al., 2024).

Insumos permitidos en la agroecología, cultivo orgánico y el convencional.

la agricultura convencional, se puede inferir que esta se caracteriza por: el uso extensivo de fertilizantes y plaguicidas sintéticos para maximizar la producción, un enfoque en el monocultivo, lo que puede llevar a la degradación del suelo y la pérdida de biodiversidad, la utilización de organismos genéticamente modificados (OGM) para aumentar la resistencia a plagas y herbicidas y prácticas de manejo animal que pueden ser intensivas y con menor enfoque en el bienestar animal (Knorr & Augustin, 2024).

Por otra parte, la agroecología va más allá de la agricultura orgánica al integrar principios ecológicos y sociales en los sistemas agrícolas que incluyen optimizar las interacciones entre plantas, animales, seres humanos y el medio ambiente, promover la biodiversidad y la resiliencia de los agroecosistemas, fortalecer los procesos ecológicos naturales para el control de plagas y enfermedades y fomentar la equidad social y la justicia en los sistemas alimentarios.

La agroecología comparte similitudes con la agricultura orgánica, pero existen diferencias clave en sus principios, prácticas y alcance. En cuanto a los principios, la agroecología se enfoca en optimizar los procesos ecológicos, mejorar la salud del suelo, promover la biodiversidad, minimizar el uso de insumos externos y fomentar las interacciones biológicas beneficiosas.

La agricultura orgánica, por otro lado, se define principalmente por normas y regulaciones que restringen el uso de ciertos insumos, particularmente los sintéticos, mientras que la agroecología se centra en la optimización de los procesos ecológicos para minimizar la necesidad de cualquier tipo de insumo, la agricultura orgánica establece límites específicos para ciertos insumos, incluso si son de origen natural (Migliorini & Wezel, 2017).

Las prácticas agroecológicas incluyen la rotación de cultivos, la fijación biológica de nitrógeno, la labranza mínima, el uso de abono orgánico, el manejo eficiente del agua, los policultivos, la agroforestería y el manejo integrado de plagas, muchas de estas prácticas también son empleadas en la agricultura orgánica, pero la agroecología tiende a adoptar un enfoque más holístico, adaptando las prácticas al contexto local y buscando sinergias entre los diferentes componentes del sistema (Dalgaard et al., 2003).

El alcance de la agroecología se extiende más allá de la producción agrícola, abarcando todo el sistema alimentario, desde la producción hasta el consumo. La agricultura orgánica, por otro lado, se centra principalmente en la producción, con un enfoque más limitado en los aspectos sociales y económicos. En cuanto a la certificación, la agricultura orgánica cuenta con sistemas de certificación bien establecidos, mientras que la agroecología carece de una regulación formal que pueden dificultar la diferenciación de sus productos en el mercado y la obtención de apoyo político (Migliorini & Wezel, 2017).

A continuación, se presenta una tabla que resume las sustancias permitidas y no permitidas en la agricultura orgánica, con base en la información proporcionada en el acuerdo por el que se dan a conocer los Lineamientos para la Operación Orgánica de las actividades agropecuarias en México.

Tabla 1. Extracto del Anexo 1 del acuerdo por el que se dan a conocer los Lineamientos para la Operación Orgánica de las actividades agropecuarias en México. Fuente: DOF.

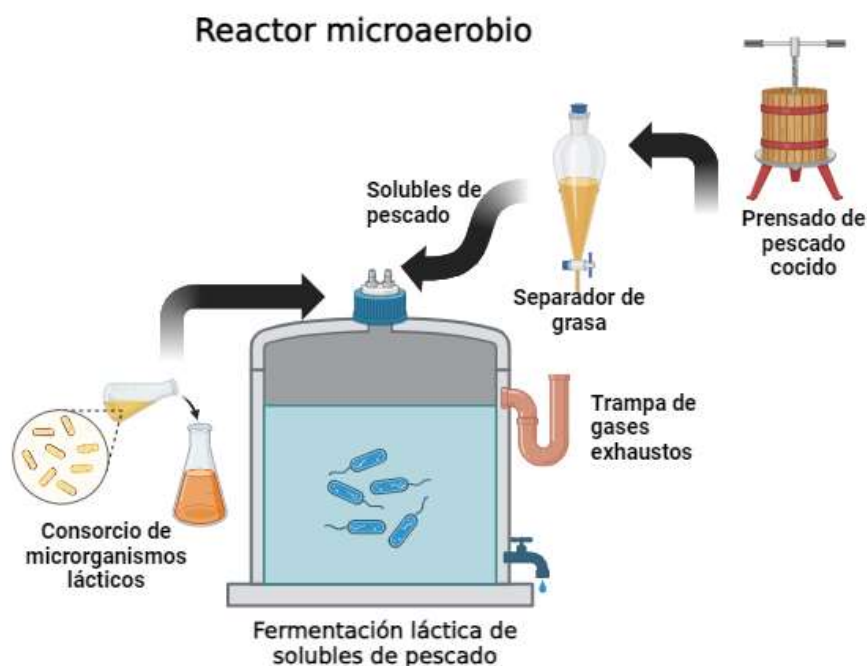
Categoría	Sustancias Permitidas	Sustancias Restringidas	Sustancias Prohibidas
Abonos y Enmiendas del Suelo	Ácidos húmicos y fúlvicos (extracción alcalina), calcio (fuentes naturales), estiércol (producción orgánica o ganadería extensiva)		Hidróxido de amonio (para ácidos húmicos y fúlvicos), hidróxido de calcio, óxido de calcio, sulfato de calcio producido con ácido sulfúrico, estiércol de ganaderías intensivas.
Manejo Ecológico de Plagas y Enfermedades	Extractos de algas y plantas acuáticas (sin tratamientos químicos, fuentes sostenibles), piretrinas naturales, microorganismos (no OGM)	Polisulfuro de calcio	Piretrinas sintéticas (excepto en casos excepcionales), plaguicidas sintéticos.
Procesamiento de Productos Orgánicos	Ingredientes naturales, aditivos sintéticos limitados (según Cuadro 3)		Aditivos sintéticos no listados en el Cuadro 3.
Sanitización y Desinfección	Ácido acético, ácido cítrico, ácido peracético, alcohol etílico, peróxido de hidrógeno, hipoclorito de sodio (con límites residuales)		Sustancias no biodegradables, sustancias con residuos tóxicos.

Por otra parte, en la lista del OMRI (Organic Materials Review Institute) de USA aparecen más de 500 resultados de productos a base de soluble de pescado que indican que su uso es compatible con la agricultura orgánica.

Al no tener un marco legislativo o de certificación similar al de la agricultura orgánica, la agricultura agroecológica, no tiene una lista de sustancias e insumos no permitidos.

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

La obtención de biofertilizante de solubles de pescado fue planteada para realizarse en cuatro etapas que se describen a continuación:



Created in [BioRender.com](https://www.biorender.com) 

Normalmente los fertilizantes líquidos fermentados son reposados de uno a dos meses en condiciones de anaerobiosis o bien agitando una vez por día, este periodo de reposo en conjunto a las actividades bacterianas lo que permite al final de este periodo haber degradado lo suficiente los diversos compuestos orgánicos para su utilización por las plantas.

Materiales y procedimientos para la elaboración del biofertilizante líquido

Materiales, equipos e Insumos

Contenedor y elementos de medición:

- Biodigestor tipo bidón de 100 litros con trampa para gases
- Probetas graduadas de polietileno de 1 litro o jarras graduadas de polipropileno de 2 a tres litros
- Cubetas de decantación con llave inferior
- Embudos de plástico

Insumos para la fermentación:

- Solubles de pescado
- Yogur natural o cultivos lácticos comerciales.

Elementos para hidrólisis y ajuste de pH:

- Ácido sulfúrico 91%
- KOH grado industrial

Envasado:

- Botellas de 1 litro tipo misil
- Etiquetas

Equipamiento:

- Biodigestor con trampa para gases
- pH-metro
- Báscula de precisión de 0.1 gr y hasta 5 kg de capacidad máxima.
- Agitador con motor

Equipo de seguridad:

- Lentes de seguridad
- Guantes de nitrilo o resistentes a corrosión hasta codos
- Botas de seguridad
- Bata de seguridad
- Mascarilla de seguridad FFP2 o FFP3 con filtro para vapores ácidos

Previo al establecimiento en planta, se realizó la validación del procedimiento propuesto en planta, resultando las mejores condiciones resumidas en el siguiente esquema demostrativo.

Estas validaciones fueron parte del proyecto de tesis del alumno de la Maestría en Estudios Transdisciplinarios en Ciencia y Tecnología de la Universidad de Guadalajara, Francisco Bustamante Huízar quien participó en el proyecto de 2022 al 2024.

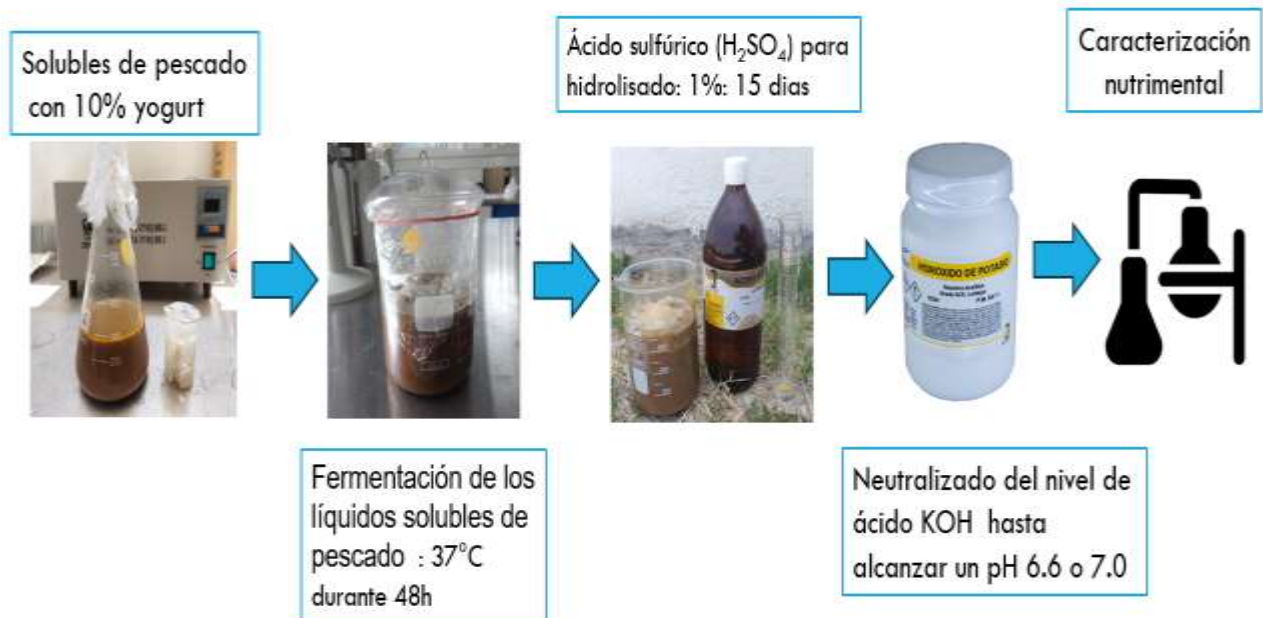
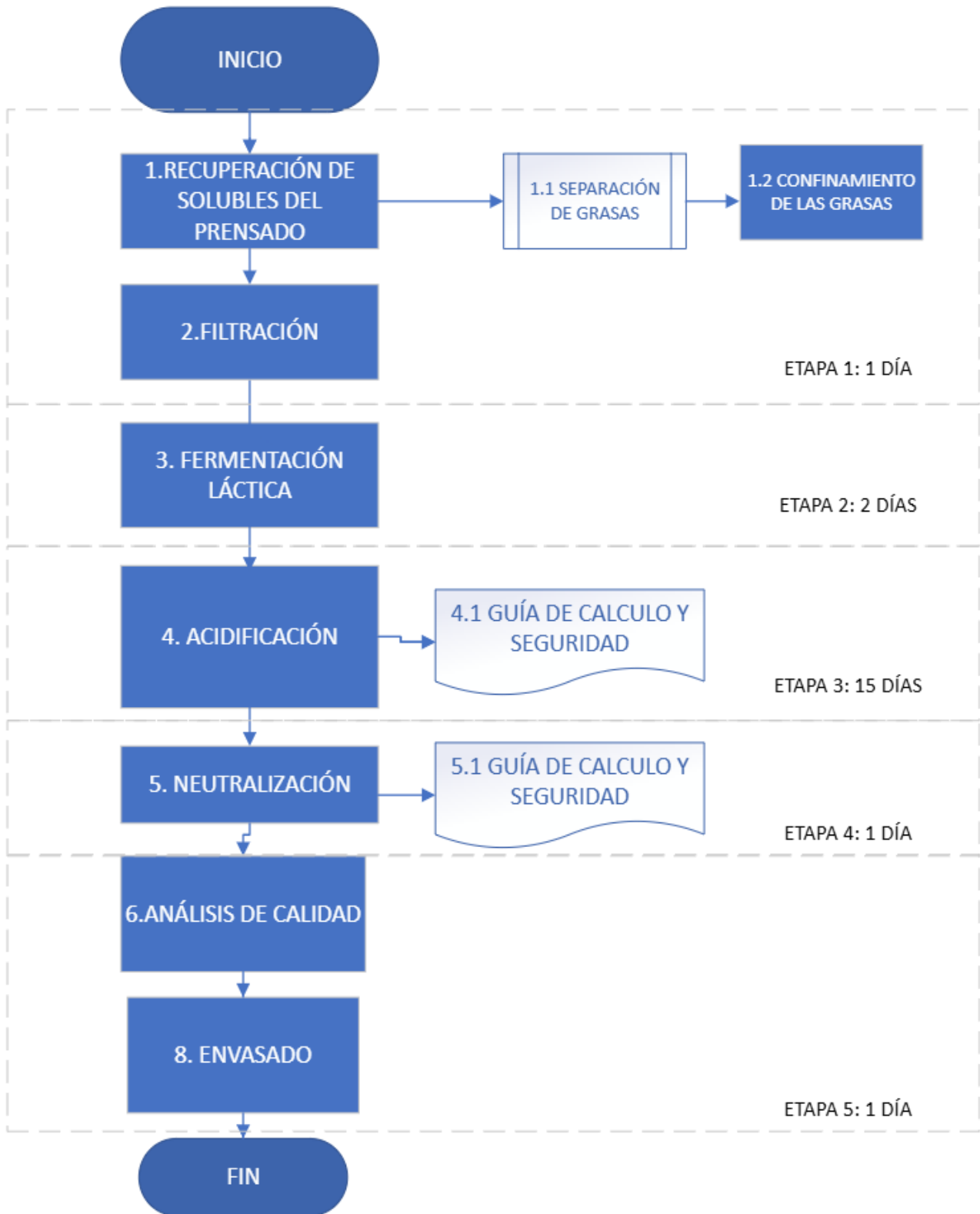


Ilustración: Validación en escala laboratorio para la producción de biofertilizante. Fuente propia.

El siguiente diagrama de flujo describe las operaciones para la producción de biofertilizante:



ETAPA 1: DE LA OBTENCIÓN Y SEPARACIÓN DE LOS SOLUBLES DE PESCADO.

1.1. **Prensado del pescado cocido:** Este proceso se deriva del principal para la obtención de harina de pescado. En la etapa de prensado se recuperan los jugos del pescado cocido, que constituyen los solubles de pescado.

1.2. Separación de la grasa:

1.2.1. Utilizar envases de separación por decantación con llave para separar la grasa de los lixiviados, esto cuando los solubles tengan una temperatura de unos 45°C.

1.2.2. Abrir la llave del recipiente de decantación para drenar la fase acuosa, soluble de pescado, reteniendo hasta el punto de que la grasa sea mayoritaria dentro en el envase.

ETAPA 2: FERMENTACIÓN LÁCTICA

2.1. Transferencia al biorreactor: Transferir los solubles de pescado obtenidos en la etapa 1 al biorreactor.

2.2. Preparación del biorreactor:

2.2.1 Sanitización: Sanitizar el bidón de 100 litros con un sanitizador de superficies, siguiendo las instrucciones del fabricante.

2.2.2 Llenar el biorreactor con los solubles de pescado hasta el 90% de su capacidad (90 litros).

2.3. Inoculación: Añadir cultivos lácticos comerciales o yogur natural sin colorantes ni endulzantes al biorreactor en una proporción del 5% del volumen total (4.5 litros). El yogur en su caso no debe agregarse frío, es deseable que sea atemperado con el ambiente.

2.3.1 Agitar suavemente el bidón biorreactor para incorporar el cultivo láctico de manera homogénea.

2.4 Colocar la trampa de gases para que los insectos y otros microorganismos no puedan entrar a contaminar, pero los gases generados por la fermentación puedan salir.

2.4. Fermentación: Cerrar el biorreactor, asegurándose de colocar la tapa correctamente. Dejar fermentar durante 24 horas a temperatura ambiente.

ETAPA 3: HIDRÓLISIS ÁCIDA

PRECAUCIÓN: El ácido sulfúrico es una sustancia corrosiva. Se deben tomar las siguientes medidas de seguridad durante su manipulación:

1. **Equipo de protección personal:** Utilizar lentes de seguridad, bata de laboratorio, guantes de protección química resistentes al ácido y mascarilla especial con filtro, se recomienda una mascarilla FFP2 o FFP3 con filtro para vapores ácidos.
 - Recomendaciones adicionales:
 - Ajuste: Asegure que la mascarilla se ajuste bien al rostro para que no haya fugas.
 - Mantenimiento: Revise el filtro regularmente y cambie según las indicaciones del fabricante.

-
2. **Ventilación:** Trabajar en un área bien ventilada o, preferiblemente, en un sistema de extracción de humos.
 3. **Protección del área de trabajo:** Realizar la adición del ácido sobre una superficie resistente a la corrosión. En caso de no contar con un sistema de extracción, establecer un área con arena de río para contener posibles derrames.
 4. **Adición lenta:** Añadir el ácido sulfúrico lentamente y con precaución, evitando salpicaduras. Dejarlo caer por las paredes del biorreactor para evitar reacciones violentas.
 5. **Evitar la inhalación:** No inhalar los vapores del ácido sulfúrico.
 6. **En caso de contacto:** En caso de contacto con la piel o los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua y buscar atención médica inmediata. Procurar tener a la mano la hoja de seguridad del reactivo.

4.1. Adición de ácido sulfúrico:

Calcular el volumen de ácido sulfúrico al 1% necesario para el volumen final del soluble de pescado.

Ejemplo: Si el volumen final del soluble de pescado es de 94.5 litros, el volumen de ácido sulfúrico al 98% a añadir será: $94.5 \text{ litros} * 0.01 * 100 / 98 = 0.964$ litros de ácido sulfúrico a agregar.

4.2. **Mezclado:** Agitar suavemente el biorreactor para asegurar una distribución homogénea del ácido con un agitador con motor, como los que se utilizan en las mezclas de pintura.

4.3 **Reposo:** Una vez añadido el ácido el biorreactor debe reposar durante dos semanas a temperatura ambiente, sin movimientos, en la sombra.

ETAPA 4: NEUTRALIZACIÓN

PRECAUCIÓN: La potasa (hidróxido de potasio) es una sustancia corrosiva. Se deben tomar las siguientes medidas de seguridad durante su manipulación:

Equipo de protección personal: Utilizar lentes de seguridad, bata de laboratorio y guantes de protección química resistentes a la corrosión.

Ventilación: Trabajar en un área bien ventilada.

Protección del área de trabajo: Realizar la adición de la potasa sobre una superficie resistente a la corrosión.

Adición lenta: Añadir la potasa lentamente y con precaución, evitando salpicaduras.

Agitación: Agitar la mezcla suavemente durante la adición de la potasa. OJO, no utilizar recipientes de metal al menos que sean de acero inoxidable, en ese caso se prefiere el uso de plásticos resistentes tanto para pesar como para vaciar.

Evitar la inhalación: No inhalar el polvo o los vapores de la potasa.

En caso de contacto: En caso de contacto con la piel o los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua y buscar atención médica.

5.1. Transferencia del soluble: Transferir el soluble de pescado hidrolizado del biorreactor a un bidón de boca ancha.

5.2. Adición de la potasa: Con la ayuda de un agitador de pintura de propela y un pH-metro, añadir lentamente la potasa (también llamada hidróxido de sodio) al soluble de pescado. Agitar a velocidad suave con el agitador de propela mientras se añade la potasa, para asegurar una disolución y neutralización homogénea.

Monitorear el pH de la mezcla con el pH-metro hasta alcanzar el pH deseado de 7.0.

Estimación teórica de la cantidad de potasa:

Para realizar una estimación teórica de la cantidad mínima de potasa necesaria, se debe considerar:

- El volumen del soluble de pescado a neutralizar.
- La concentración del ácido sulfúrico utilizado en la hidrólisis.
- El pH final deseado, en este caso neutro o de 7.0.

Ejemplo:

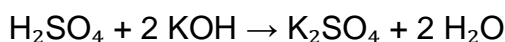
Para neutralizar 94.5 litros de soluble de pescado acidificados con 0.964 litros de ácido sulfúrico al 98% de pureza, se necesita calcular la cantidad de potasa (KOH) necesaria. Primero, se calcula la masa del ácido sulfúrico (H₂SO₄) añadido:

- Densidad del H₂SO₄ al 98% = 1.84 g/mL
- Masa del H₂SO₄ = 0.964 L * 1000 mL/L * 1.84 g/mL = 1776.96 g
- Masa del H₂SO₄ puro = 1776.96 g * 0.98 = 1741.42 g

Luego, se calcula la cantidad de moles de H₂SO₄:

- Peso molecular del H₂SO₄ = 98 g/mol
- Moles de H₂SO₄ = 1741.42 g / 98 g/mol = 17.77 moles

La reacción de neutralización entre el H₂SO₄ y el KOH es:



Por lo tanto, se necesitan 2 moles de KOH por cada mol de H₂SO₄:

Moles de KOH = 17.77 moles H₂SO₄ * 2 moles KOH/mol H₂SO₄ = 35.54 moles KOH

Finalmente, se calcula la masa de KOH necesaria:

- Peso molecular del KOH = 56.11 g/mol
- Masa de KOH = 35.54 moles * 56.11 g/mol = 1994.17 g = 1.99 kg

Por lo tanto, se necesitarían teóricamente 1.99 kg de KOH para neutralizar el ácido sulfúrico. Sin embargo, esta es una estimación mínima, ya que no se está considerando el ácido láctico producido durante la fermentación. Se recomienda monitorear el pH durante la neutralización para determinar la cantidad exacta de potasa necesaria.

ETAPA 5: CONTROL DE CALIDAD Y ENVASADO

Control de calidad de la neutralización del biofertilizante con KOH

Además del cálculo anterior que resulta ser teórico, pero apoya a estimar los consumos durante producción se planteó realizar una determinación de la acidez titulable, cuyo procedimiento es el siguiente tomado de la norma AFDC 10 (4588) del país de Tanzania:

Determinación de la acidez libre como H_2SO_4

Reactivos

-Solución estándar de hidróxido de sodio, 0.02 N

-Solución indicadora mixta de rojo de metilo-azul de metileno, preparada mezclando volúmenes iguales de solución al 0.2% en alcohol de rojo de metilo y solución al 0.1% en alcohol de azul de metileno.

Procedimiento:

1 - mezclar 20 gr de la muestra en aproximadamente 50 ml de agua fría neutra. 2 - Filtrar y completar el volumen hasta aproximadamente 200 ml. El medio filtrante debe ser neutro y no debe contener ningún material alcalino que neutralice la acidez libre.

2 -Titular la solución con solución estándar de 0.1 N KOH utilizando una o dos gotas de indicador mixto de rojo de metilo-azul de metileno y una micro bureta.

Cálculo

$$\text{ácido sulfúrico libre \% vol (cómo } H_2SO_4) = \frac{4.904 * N * V}{G_r}$$

Donde:

N = Normalidad de la solución estándar de NaOH, es decir 0.02.

V = Volumen en mililitros (ml) de la solución estándar de NaOH

Gr = gramos (gr) de la muestra tomada para la prueba, es decir 20 gr.

Para calcular la cantidad de potasa a utilizar tras titular se requieren entonces:

$$mKOH (gr) = \frac{V * N * 0.05611}{Acidez titulable (\%)}$$

Donde:

mKOH es la cantidad en gramos que se requiere para neutralizar.

Ejemplo:

Si se tienen 100 mL de biofertilizante con una acidez titulable del 2% y se utiliza una solución de KOH 1N para neutralizarlo, la masa de KOH necesaria sería:

$$mKOH = \frac{100 \text{ mL} * 1 \frac{eq}{l} * 0.05611}{2\%} = 2.8055 \text{ gr de KOH}$$

Los procedimientos anteriores deben realizarse para garantizar que el pH del producto tenga siempre un parámetro estándar en este sentido.

Sólidos totales

Además de establecer un pH para el producto, la estandarización de los sólidos totales en el biofertilizante se establece en términos de gravimetría, de acuerdo con la NMX-AA-034-SCFI-2015, obteniendo el peso del residuo que permanece en una cápsula después de evaporar y secar una muestra a una temperatura de 105 °C ± 2 °C.

Consideraciones adicionales:

Olor: El soluble de pescado tiene es característico que puede ser desagradable. Para minimizarlo, diluya bien el producto y aplíquese en las horas más frescas del día.

Almacenamiento: Almacena el soluble de pescado en un lugar fresco y oscuro para evitar su degradación

Envasado: debe realizarse a un volumen fijo y homogeneizando previamente la mezcla

Si bien la cantidad de nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio en el biofertilizante líquido puede variar según los ingredientes que se usen para hacerlo, su principal beneficio no es solo como fuente de nutrientes. Lo más importante es su capacidad para estimular el crecimiento y desarrollo de las plantas, actuando como un bioestimulante. Para que esto funcione correctamente, es fundamental que el biofertilizante tenga un buen plan de manejo y una composición equilibrada de nutrientes.

Más adelante, en la tabla 2, se reporta en detalle la composición nutricional macro de un lote de biofertilizante.

Tabla 1. Resultados físico-químico de macronutrientes N,P,K de un lote de biofertilizante.

Resultados físico-químico				
	Nitrógeno (N)	Fósforo (P)	Potasio (K)	pH
Ranasinghe, 2021	5.7%	0.5%	0.82%	7.0
Darwish, 2020	-	0.05%	1.51%	-
Florez 2020	1.2%	0.11%	0.55%	5 a 6.
Aranganathan 2016	1.0%	0.37%	0.39%	5.9
Este trabajo (tesis de Bustamante, Francisco, 2024)	2.75%	4.25%	3.55%	6.6

RECOMENDACIONES DE USO Y APLICACIÓN

Se debe tomar en cuenta que el producto obtenido no ha sido validado en campo, por lo que se debe tener en cuenta este aspecto antes de comenzar su recomendación.

Otros solubles de pescado en el mercado sugieren:

Dilución: Siempre diluye el soluble de pescado en agua según las indicaciones del fabricante. Generalmente, se recomienda una proporción de 1:500 a 1:1000.



Ilustración: Apariencia final de un lote de producción de biofertilizante. Fuente propia.

Métodos de aplicación en campo:

Riego: Aplicar la solución diluida al regar las plantas, asegurándote de cubrir toda la zona radicular.

Foliar: Rociar las hojas de las plantas con la solución diluida, preferiblemente por la mañana temprano o al atardecer para evitar la evaporación rápida.

Frecuencia: Aplica cada 10 días durante la etapa de crecimiento vegetativo y cada 7-10 días durante la floración y fructificación. Se debe hacer énfasis en que los reportes indican que la liberación de nitrógeno es rápida por lo que no debe considerarse como un fertilizante de liberación prolongada.

CONCLUSIONES

La línea de producción es viable para la transformación de residuos de pescado en biofertilizante.

La cocción de los desechos de pescado en la cocina solar a una temperatura de 70 a 80 °C. Los resultados obtenidos en la harina de pescado y biofertilizante resultaron favorables dentro de los lineamientos establecidos.

La propuesta de esta investigación busca aprovechar de manera integral la materia prima y agregar valor a los subproductos del pescado, que generalmente son considerados desechos.

Diseña un plan de manejo de residuos para una planta comunitaria de secado de productos pesqueros operada con energía termosolar en comunidades rurales de Campeche, cumpliendo con la norma NOM-161-SEMARNAT-2011.

REFERENCIAS

- Agostini, L., Bünemann, E. K., Jakobsen, C., Salo, T., Wester-Larsen, L., & Symanczik, S. (2024). Prediction of nitrogen mineralization from novel bio-based fertilizers using chemical extractions. *Environmental Technology and Innovation*, 36. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2024.103781>
- Ahuja, I., Dauksas, E., Remme, J. F., Richardsen, R., & Løes, A. K. (2020). Fish and fish waste-based fertilizers in organic farming – With status in Norway: A review. In *Waste Management* (Vol. 115, pp. 95–112). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.07.025>
- Dalgaard, T., Hutchings, N. J., & Porter, J. R. (2003). Agroecology, scaling and interdisciplinarity. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 100(1), 39–51. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(03\)00152-X](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0167-8809(03)00152-X)
- Gil, F., Taf, R., Mikula, K., Skrzypczak, D., Izydorczyk, G., Moustakas, K., & Chojnacka, K. (2024). Advancing sustainable agriculture: Converting dairy wastes into amino acid fertilizers. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 42, 101782. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scp.2024.101782>
- Illera-Vives, M., Seoane Labandeira, S., Brito, L. M., López-Fabal, A., & López-Mosquera, M. E. (2015). Evaluation of compost from seaweed and fish waste as a fertilizer for horticultural use. *Scientia Horticulturae*, 186, 101–107. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.02.008>
- Kalbani, F. O. S. A., Salem, M. A., Cheruth, A. J., Kurup, S. S., & Senthilkumar, A. (2016). Effect of some organic fertilizers on growth, yield and quality of tomato (*Solanum lycopersicum*). *International Letters of Natural Sciences*, 53, 1–9. <https://doi.org/10.18052/WWW.SCI PRESS.COM/ILNS.53.1>
- Knorr, D., & Augustin, M. A. (2024). Food systems restoration. In *Sustainable Food Technology*. Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/d4fb00108g>
- Migliorini, P., & Wezel, A. (2017). Converging and diverging principles and practices of organic agriculture regulations and agroecology. A review. In *Agronomy for Sustainable Development* (Vol. 37, Issue 6). Springer-Verlag France. <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0472-4>
- Ranasinghe RHAA, Kannagara BTSDP, Ratnayake RMCS. Hydrolysis of fish waste using fruit wastes of ananas comosus and carica papaya for the formulation of liquid fertilizers. *Int J Recycl Org Waste Agric*. 2021;10(2):129–43.
- Darwish M, Aris A, Puteh MH, Abdul Kadir A, Mohamed Najib MZ, Mustafa S. Phosphorus Extraction from Fish Waste Bones Ash by Acidic Leaching Method. *Asian J Water, Environ Pollut* [Internet]. 2020 May 7;17(2):1–6. Available from: <https://www.medra.org/servlet/aliasResolver?alias=iospress&doi=10.3233/AJW200013>
- Florez M, Roldán D, Juscamaita J. EVALUACIÓN DE FITOTOXICIDAD Y CARACTERIZACIÓN DE UN FERTILIZANTE LÍQUIDO ELABORADO MEDIANTE FERMENTACIÓN LÁCTICA UTILIZANDO SUBPRODUCTOS DEL PROCESAMIENTO DE TRUCHA (*Oncorhynchus mykiss*). *Ecol Apl* [Internet]. 2020;19(2):121–31. Available from: <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v19n2/1726-2216-ecol-19-02-121.pdf>
- Aranganathan L, Rajasree S.R R. Bioconversion of marine trash fish (MTF) to organic liquid fertilizer for effective solid waste management and its efficacy on Tomato growth. *Manag Environ Qual An Int J*. 2016;27(1):93–103.