**SIQ COMISIÓN III: IV SIMPOSIO INTERNACIONAL “SEGURIDAD TECNOLÓGICA Y AMBIENTAL”**

**Producción de ensilado biológico a partir de residuos de pescado**

***Production of biological silage from fish waste***

Isabel Cabrera Estrada1, Mercedes Arbona Cabrera2, Dayami Valladares Aguilar3, Luis Arturo Tejeda Lema4

1. Isabel Cabrera Estrada. UCLV “Marta Abreu de Las Villas”, facultad de Química Farmacia, Departamento de Ingeniería Química, Cuba. icabrera@uclv.edu.cu
2. Mercedes Arbona Cabrera. UCLV “Marta Abreu de Las Villas”, facultad de Química Farmacia, Departamento de Ingeniería Química, Cuba. marbona@uclv.cu
3. Dayami Valladares Aguilar, INDUVILLA, Villa Clara, Cuba
4. Luis Arturo Tejeda Lema, recapadora de neumáticos “David Díaz Guadarrama”, Cuba.

**Resumen:**

La entidad INDUVILLA procesa pescado de agua dulce en Villa Clara. Tiene como misión abastecer el mercado con productos originados a partir de estos, pero genera residuos sólidos que necesitan ser manejados adecuadamente para disminuir su impacto ambiental. Este trabajo tiene por objetivo proponer una planta para la obtención de un ensilado biológico a partir del aprovechamiento de los residuos sólidos, lo que contribuirá a suplir necesidades alimenticias de los alevines y a mitigar el impacto ambiental negativo que ejercen los residuos sólidos generados por INDUVILLA.

Se aplicó la metodología del Análisis de Ciclo de Vida y el programa Sima Pro 8.0, se cuantificó el impacto sobre el medio ambiente de los consumos de agua y otros recursos, así como de los residuos de pescados. Se realizó un estudio experimental del comportamiento del ensilado y posterior a 70 días los resultados de pH se mantuvieron estables, próximos a 4, que es el óptimo para este tipo de producto. Dicho ensilado contribuirá a la alimentación de los alevines y beneficiará los índices económicos de la entidad.

Se diseñó una planta de producción de ensilado biológico a partir de vísceras de pescado con una capacidad de 924,91 toneladas al año, la cual no genera nuevos residuos y es factible de realizar la inversión pues tiene un VAN de $ 724417,62, una TIR de 40% y un PRD de 1,7 años.

La ejecución de la metodología RECIPE permitió corroborar los beneficios que se obtienen si se implementa la producción del ensilado de pescado.

***Abstract:***

*The entity INDUVILLA processes freshwater fish in Villa Clara. Its mission is to supply the market with products originated from these, but it generates solid waste that needs to be managed properly to reduce its environmental impact. The objective of this work is to propose a plant for obtaining biological silage from the use of solid waste, which will contribute to meet the nutritional needs of the fingerlings and to mitigate the negative environmental impact exerted by the solid waste generated by INDUVILLA.*

*The Life Cycle Analysis methodology and the Sima Pro 8.0 program were applied, the impact on the environment of the consumption of water and other resources, as well as fish waste, was quantified. An experimental study of silage behavior was performed and after 70 days the pH results remained stable, close to 4, which is the optimum for this type of product. This silage will contribute to the feeding of the fingerlings and will benefit the economic indexes of the entity.*

*A biological silage production plant was designed from fish viscera with a capacity of 924, 91 tons per year, which does not generate new residues and is feasible to make the investment because it has a NPV of $ 724417,62, a TIR of 40% and a PRD of 1,7 years.*

*The execution of the RECIPE methodology allowed to corroborate the benefits obtained if the production of the fish silage is implemented.*

**Palabras Clave:** Ensilado biológico; Residuos sólidos; Procesamiento de pescado; Impacto ambiental.

***Keywords:*** *Biological silage; Solid waste; Fish processing; Environmental impact.*

**1. Introducción**

Los principales aspectos ambientales de la actividad del procesamiento del pescado tienen su origen en los procesos adoptados para la disposición de los efluentes líquidos, residuos sólidos y la emisión de olores. La metodología de evaluación de impacto seleccionada para el presente estudio es la ReCiPe, creada por RIVM, CML, PRé Consultants, Radboud Universiteit, Nijmegen y CE Delft. ReCiPe se desarrolló para combinar las ventajas de los métodos CML2001 y Eco-Indicator99. La ventaja del método CML es su solidez científica, mientras que la ventaja del Eco-indicator 99 es su facilidad de interpretación. Se trata de una metodología publicada en el año 2008 e internacionalmente aceptada. Esta metodología, también está enmarcada en el ámbito europeo y está considerada como la sucesora de las metodologías anteriores.La evaluación del impacto ambiental se realiza por la metodología ReCiPe mediante el uso del software Sima pro 8.0.

A nivel mundial, existe un volumen importante de residuos obtenido de la acuicultura, la pesca y la elaboración de productos a base de pescado. Los residuos sólidos del proceso pueden llegar a constituir un 70% del peso inicial del pescado. Se incorporan a ello descartes de la fauna acompañante y otras pérdidas ocasionadas por la manipulación, procesamiento, almacenamiento y comercialización del pescado fresco. Por lo tanto, es necesario utilizar tecnologías simples y de baja inversión que permitan el aprovechamiento de esa proteína de origen animal y de esta forma minimizar los efectos de la contaminación ambiental ([Toledo and Llanes, 2006](#_ENREF_46)). De no tratarse adecuadamente los residuos de pescados, ocurre en los residuos una proteólisis indeseable, resultando en la producción de Nitrógeno-amoniacal, y las aminas cadaverina y putresina, que emiten un olor desagradable ([Díaz, 2004](#_ENREF_13)).

La actividad pesquera en Villa Clara que se produce a escala industrial, en especifico en la Unidad Estatal Básica (UEB) Induvilla dedicada a producir productos derivados del pescado para la alimentación humana genera durante los procesos de manipulación, procesamiento y elaboración desechos orgánicos tanto líquidos (aguas residuales con una elevada carga contaminante), así como sólidos (escamas, huesos y vísceras) El manejo, tratamiento y disposición final de estos residuos no han sido los adecuados. Los mismos han provocado problemas de contaminación tales como: generación de malos olores, proliferación de vectores y microorganismos patógenos, así como el vertimiento inadecuado hacia fuentes hídricas causando la contaminación de las mismas.

El ensilado de pescado es un producto semi-líquido o pastoso, que aprovecha los residuos de desechos de la industria pesquera, pescado entero no apto para consumo humano o partes del mismo, tales como cabeza, colas, huesos, piel, escamas y vísceras. El ensilado de pescado es de fácil elaboración y de bajo costo, puede ser componente de raciones alimenticias para animales. Es un producto que no atrae insectos indeseables ni olores desagradables([Bello, 1993](#_ENREF_9), [Berenz, 1994](#_ENREF_10), [Gonzales et al., 2007](#_ENREF_21), [Parin and Zugarramurdi, 1994](#_ENREF_38), [Toledo and Llanes, 2006](#_ENREF_46)) .El ensilado de pescado es un alimento que posee gran digestibilidad, cualidad que le proporciona un gran beneficio en alimentación animal, sin dejar de mencionar que las proteínas que lo constituyen son de un elevado valor biológico ([Balsinde et al., 2003](#_ENREF_6)). Diversas metodologías de ensilaje (conservación de materias orgánicas) de desechos sólidos de pescado se emplean en la alimentación animal, lo cual puede contribuir a la conversión de subproductos desechables en ingredientes alimentarios utilizables.([Toledo et al., 2007](#_ENREF_47)). El ensilaje de pescado, puede designarse como pescado liquido o concentrado de proteína ([Díaz, 2004](#_ENREF_13)) y se produce mediante fermentación anaeróbica (ensilado biológico) o acidificación (ensilado químico). Esto se hace con el objetivo de reducir el pH del material a preservarse lo suficiente (pH- 4,5) como para evitar el crecimiento de microorganismos patógenos([Díaz, 2004](#_ENREF_13), [Gonzales, 2005](#_ENREF_20), [León, 2003](#_ENREF_28), [Toledo et al., 2007](#_ENREF_47)).

Los dos métodos existentes para la producción de ensilaje de pescado (químico y biológico), tienen en común las operaciones de molienda, homogenización, envasado y almacenamiento, así como la eliminación de material adulterante o indeseado que acompañe la materia prima ([León, 2003](#_ENREF_28)). El principio básico de la fermentación anaeróbica o producción de ensilaje es la preservación de nutrientes del material fresco (residuo orgánico). La producción de ensilaje mediante la formulación anaeróbica requiere de la presencia de microorganismos productores de ácido láctico y de una fuente de carbohidratos solubles en agua ([Olvera and Winterg, 2002](#_ENREF_35)).

### Proceso de elaboración de ensilaje

La elaboración de un ensilado biológico puede llevarse a cabo tanto a nivel artesanal como en escala industrial (una tonelada por día o más) ([Gildberg and Raa, 1982](#_ENREF_19)).

Las instalaciones que se utilizan para la elaboración de ensilado dependen del volumen de producción. Los equipos empleados para la etapa de trituración son: adaptación de equipos disponibles localmente como molino picador de coco, picadora de carnes convencional a tornillo con placas perforadas, molino de martillo desintegrador, bomba trituradora (Mutrator), etc. Este último equipo sirve como mezclador y es usado cuando se procesan pescados pequeños o sólo vísceras. La molienda del pescado debe realizarse eficientemente tanto para el proceso biológico como para el químico. Algunos autores señalan que el tamaño de partícula no debe ser mayor de 10 mm de diámetro ([Losane, 2001](#_ENREF_29)). A su vez, se recomienda cortar el pescado de manera tal que las superficies interiores queden expuestas al medio ácido preservante y por lo tanto, elegir una cortadora que corte el pescado en segmentos transversales, manejada por un motor o manualmente ([Rodriguez, 2007](#_ENREF_43)). Para lograr este requerimiento, el equipo a utilizar para la trituración podrá ser de características muy distintas, según se trate de desmenuzar pequeños pelágicos o cabezas de gran tamaño y fuerte estructura ósea.

El mezclado del pescado molido con el inóculo y el substrato puede ser hecho en un tanque de concreto en el caso del biológico. El tanque de producción puede ser de cualquier tamaño y forma, pero resistente al ácido en el caso químico; los contenedores de acero usados para elaborar o transportar el ensilado requieren de un revestimiento de polietileno para prevenir la corrosión. Para manejar grandes cantidades son adecuados los tanques de concreto u hormigón revestidos. Es necesario que la mezcla se agite regularmente para asegurar uniformidad hasta su completa homogenización. El tamaño y el número de tanques dependen de la cantidad y tipo de la materia prima disponible. Los pescados grasos y el pescado fresco se licuan más rápidamente que los desperdicios. Por ejemplo, el ensilado elaborado a partir de desperdicios de pescado blanco fresco tarda dos días si la temperatura es de unos 25 °C, pero tardará unos 5 a 10 días si es de 15 °C. Dependiendo de la velocidad de producción deseada y de la temperatura ambiente, la planta puede estar provista de medios calefactores, ([Feltham, 1983](#_ENREF_16)). En 1990, el Instituto Tecnológico Pesquero del Perú desarrolló una técnica de obtención de ensilado biológico a partir de residuos cocidos de pescado utilizando bacterias lácticas, el ensilado fue empleado como insumo para la alimentación de pollos y cerdos ([Areche, 1992](#_ENREF_5)), el proceso requiere consumo de energía para la cocción de residuos y para la incubación de 40 °C durante 48 horas.

### Ventajas del ensilaje biológico

Algunas de las ventajas principales del proceso de ensilado biológico en comparación con el ensilado químico son: ahorro económico porque se evita la compra de ácidos; fácil mantenimiento y reproducción del cultivo iniciador; además, es fácil el secado ya que el ensilado de pescado fermentado presenta menor contenido de humedad que el ensilado químico ([Martin, 1996](#_ENREF_30)). Aunado a lo anterior, desde el punto de vista nutricional, la hidrólisis proteínica que resulta del ensilado de pescado fermentado es menor que en el ensilado producido por adición de ácido. Además, el proceso de fermentación ayuda a estabilizar la calidad del aceite en el producto, lo cual resulta más atractivo para los animales([Kjos et al., 2000](#_ENREF_27)). Su manipulación es sencilla, sin los peligros y riesgos, su reducido costo de producción, la posibilidad de adicionar diversas cepas de bacterias ácido lácticas, el uso de melaza es fácilmente obtenida en el país a un costo razonable, el tiempo de proceso reducido y un producto, incluyendo sabor y olor, más atractivo y apetecible ([Bello, 1993](#_ENREF_9)).

Este trabajo tiene por objetivo proponer una planta para la obtención de un ensilado biológico a partir del aprovechamiento de los residuos sólidos, lo que contribuirá a suplir necesidades alimenticias de los alevines y a mitigar el impacto ambiental negativo que ejercen los residuos sólidos generados por INDUVILLA.

**2. Metodología**

Se empleó la metodología ReCiPe mediante el uso del software SimaPro 8.0 para la evaluación del impacto ambiental. Para la conformación de los inventarios los resultados obtenidos en los balances de materiales y energía son adaptados a la unidad funcional 1 tonelada de picadillo de pescado. Se plantearon dos escenarios: producción de picadillo sin reutilizar los desechos sólidos de pecados y cuando se utilizan dichos desechos para la obtención del ensilado.

Se realizó un trabajo experimental, a nivel de laboratorio. Se obtuvo el ensilado biológico a partir del empleo de los siguientes materiales:

Vísceras de pescado: Se utilizaron vísceras de pescado (tilapias). Las vísceras fueron recolectadas y congeladas para ser procesadas lo más frescas posibles. Para iniciar el proceso fueron cocinadas durante un tiempo de 20 minutos a la temperatura de ebullición del agua con el objeto de disminuir la carga microbiana patógena que éstas poseen. Una vez cocinadas fueron enfriadas en forma rápida, agregando agua fría alrededor del recipiente. Una vez enfriados los residuos fueron colados con el objeto de atrapar los compuestos sólidos que quedaron después del proceso de cocción.

Melaza: Se utilizó melaza como fuente principal de carbohidratos en un porcentaje de 15% dentro de la mezcla.

Sacarosa: Aunque la melaza cuenta con un 14% de glucosa libre y un 35% de sacarosa se decidió utilizar sacarosa pura en un porcentaje de 1%. Pues se ha demostrado que la sola presencia de la melaza puede tener un efecto inestable en el ensilado, alterando el producto al almacenarlo en largos períodos.

Inóculo: Se utilizaron bacterias lácticas Streptococcus thermophylus y Lactobacillus bulgaris

Benzoato de Sodio: Según literatura, se debiera utilizar el ácido sórbico para la realización del ensilado puesto que evita el crecimiento de mohos y levaduras en el ensilado, pues éstos se consideran microorganismos capaces de desarrollarse en condiciones extremas tanto de temperatura como de pH. Pero este es un ácido difícil de obtener en Cuba por lo que se decidió emplear el benzoato de sodio el que es más común.

Los experimentos siguieron un diseño 2k. Las variables seleccionadas fueron: por ciento de conservante e inóculo (Ghaly, 2013), cuyos intervalos de trabajo se muestran en la tabla 1. Como respuesta se midieron las variables pH, acidez y bases nitrogenadas volátiles. Se realizó una evaluación organoléptica.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Variable independiente** | **Máximo (+),** | **Mínimo (-)** |
| Conservante (benzoato de sodio) | 0,25 | 0 |
| Inóculo | 5 | 0 |

Tabla 1. Intervalos de las variables consideradas en el experimento. (Fuente: elaboración propia).

Temperatura de incubación: Se decidió incubar a una temperatura de 29 oC porque puede realizarse el proceso a escala industrial sin gasto adicional de energía.

Se hicieron análisis de pH, acidez y Bases Nitrogenadas Volátiles (BNV) durante los primeros días del proceso con el objeto de conocer la estabilidad del producto. Todos los análisis se realizaron en el laboratorio de microbiología de la Universidad Central Marta Abreu de las Villas. El tiempo de experimentación fue de 60 días.

pH: Se utilizó un potenciómetro electrónico con electrodo de vidrio de lectura directa.Para la determinación de Nitrógeno Volátil se empleó el Método modificado de macro destilación de Lucke y Geidel. En la unidad empresarial de base Induvilla del municipio de Santa Clara se generan al año un total de 1089,759 toneladas de desperdicio, siendo gran parte de este las vísceras, la cual es la materia prima fundamental para la producción de ensilado. Alrededor de un 70% de este desperdicio corresponde solamente a las vísceras, por lo que se tiene un total de 762,83 toneladas anuales libres para la producción del ensilado. Para esta cantidad se necesitan las siguientes cantidades de materias primas al año:

Melaza 15,00 %..........................................114,42 toneladas

Sacarosa 1,00 %.........................................7,62 toneladas

Inóculo 5,00 %............................................38,14 toneladas

Benzoato de sodio 0,25 %..........................1,9 toneladas

Producción total de ensilado……924,91 toneladas/año

Suponiendo que se trabaje un total de 300 días se tendría una producción diaria igual a 3,08 toneladas, lo que satisface considerablemente la demanda de este producto para el consumo de los criaderos de peces de agua dulce ubicados en la provincia de Villa Clara, además de suministrar parte de la producción a criaderos de aves de corral o granja.

**3. Resultados y discusión**

En la figura1 se muestra el perfil ambiental obtención de picadillo de pescado en INDUVILLA, considerando el proceso cuando se emplean los residuos sólidos de pescado en la elaboración de ensilado y cuando no se emplean en la elaboración de ese producto. Se puede apreciar como la medida de reutilizar los desechos sólidos del procesamiento del pescado permite una reducción en todas las categorías. Resulta evidente que el no tratamiento de los residuos sólidos provoca afectaciones en las corrientes de agua dulce a donde son vertidos, lo cual impacta negativamente. El proceso de producción de ensilado posibilita darle un adecuado uso a dichos residuos y en el mismo no hay generación de nuevos residuales.

****

**Figura 1** Perfil ambiental obtención de picadillo (Método: ReCiPe Endpoint (H) V1.10 / Europe ReCiPe H/A / Caracterización) (Fuente: elaboración propia)

En la figura 2 se observa que el mayor daño lo sufren los recursos seguidos del ecosistema y la salud. Todos los daños disminuyen al realizar la producción de ensilado.

Figura 2, Comparación del proceso de obtención de picadillo de pescado considerando la producción de ensilado y sin la producción de ensilado a partir de los residuos solidos(Método: ReCiPe Endpoint (H) V1.10 / Europe ReCiPe H/A / Puntuación única) (Fuente: elaboración propia)

En el estudio experimental llevado a cabo para corroborar la eficacia del ensilado se pudo verificar que el pH es uno de los índices de mayor importancia que debe ser controlado durante todo el proceso y almacenamiento del ensilado biológico de pescado, ya que refleja el desarrollo del proceso, la calidad del ensilado y manifiesta cualquier cambio que pueda afectar el producto. Adicionalmente el pH se puede medir muy fácil y rápidamente, inclusive fuera del establecimiento de producción.

En la figura 3 se representa el comportamiento del pH para ocho muestras evaluadas. Se observa que en los primeros cinco días hay una disminución drástica del pH, de valores de 6 hasta 4 aproximadamente. Este valor se mantiene estable por todo el período de almacenamiento. Dicho valor de pH refleja la fase o fenómeno de acidificación por parte de los microorganismos.

Se midieron los valores de acidez al segundo y sexto día de incubado en ocho muestras de ensilado utilizando benzoato de sodio como conservante en cuatro muestras y sin conservante en otras cuatro, cuatro con inóculo y otras cuatro sin inóculo.



Figura 3. Gráfico de barras que muestra los valores de pH tomados a 8 muestras de ensilado biológico de pescado con y sin conservante, con y sin inóculo durante un período de 15 días. (Fuente: elaboración propia).

Se observa un aumento de la acidez debido al incremento de ácido láctico producido por las bacterias. Esto es un buen indicador ya que se evidencia la presencia de dichas bacterias en el ensilado y con ellas se logra la inhibición de otros microorganismos perjudiciales por su acción descomponedora. Los resultados se muestran en la figura 4.

Figura 4. Gráfico de barra que muestra los valores de acidez tomados a 8 muestras de ensilado biológico de pescado con y sin conservante, con y sin inóculo durante un período de 2 días. (Fuente: elaboración propia).

Las bases nitrogenadas volátiles (BNV), son indicadoras de la calidad del producto y la velocidad de hidrólisis de las proteínas. Paralelamente a la disminución del pH se observa el incremento rápido en los valores de ácido láctico hasta mantenerse estable. Esto se debe a un mecanismo de auto control, estando en disponibilidad de continuar produciéndose ácido cuando el pH aumente por incremento de compuestos nitrogenados, producto del crecimiento o desarrollo de organismos distintos a los ácido-lácticos. En otras palabras existe un sistema de auto control, cuando se generan bases volátiles o compuestos nitrogenados que incrementen el pH, se inicia la producción de ácido por parte de los microorganismos, hasta que la cantidad de ácido en el medio sea suficiente para reducir el pH a niveles cercanos a 4, y detener o controlar el crecimiento de las bacterias y por ende la producción de ácido. En la figura 5 se evidencia que los niveles de nitrógeno volátil presentan un comportamiento inverso al pH, en tal forma que la producción de éstos compuestos se encuentra estrechamente relacionada con el proceso de acidificación. En la gráfica puede apreciarse que en el momento en que las BNV empiezan aumentar; el pH empieza a descender.

Figura 5. Comparación entre el pH y las Bases Nitrogenadas Volátiles para las muestras de ensilado evaluadas. (Fuente: elaboración propia).

#### Evaluación Organoléptica

Todos los tratamientos presentaron un color café ladrillo, un olor agradable con aroma a malta y buena consistencia; características que fueron mejorando a través del proceso de fermentación. Esta prueba se mantuvo, incluso 75 días después de iniciar los experimentos lo que demuestra que el ensilado puede almacenarse por largos períodos de tiempo a temperatura ambiente.

La secuencia de operaciones para la obtención del ensilado biológico aparece en la figura 6.

**Vísceras de pescado**

 Cocción

 Enfriamiento

 Molienda

 Inóculo Sustrato

 Homogeneización

 Envasado

 Incubación

 Almacenamiento

Figura 6 Flujograma de producción de ensilado de pescado

### Equipos para producción de ensilado:

Para producir el ensilado se recolectarían las vísceras y se trasladarían al área de cocción. Para este proceso se utilizaría un tacho con capacidad de 3,5 toneladas diarias (considerando un sobrediseño). A la temperatura de 100 oC se cocina el ensilado, destruyendo gran parte de microorganismos presentes en las vísceras. A continuación, pasa al área de molienda, para ello se pudiera utilizar cualquier molino picador de carne industrial a tornillo con placas perforadas o un molino de martillo desintegrador, puesto que las vísceras son blandas, a diferencias de algunas espinas o pellejo que pudieran quedar posteriores a la selección y cocción las cuales se molerían sin problema en este tipo de molino industrial. La única exigencia es que el tamaño de partícula a la salida no debe ser mayor a 10 mm de diámetro. Posteriormente se añade la sacarosa, la melaza, el inóculo bacteriano y el benzoato de sodio. Esto se realizaría bombeando cada uno de estos productos de tanques auxiliares hasta el mezclador, el que se puede realizar en un tanque de concreto de gran tamaño. Se procede al mezclado durante 20 minutos. Posteriormente se procede al envasado, esto se puede realizar en contenedores de acero revestidos de polietileno o en tanques plásticos de PVC con el objetivo de evitar la corrosión. Se debe dejar el ensilado una semana para que los valores de pH y acidez sean los indicados para el consumo animal. Se pueden almacenar durante un período de 60 días tras ser evidente en los resultados experimentales realizados.

|  |  |
| --- | --- |
| Característica | **Valor** |
| Especificaciones técnicas |
| Dimensiones |
| Frente | 96 cm |
| Fondo | 94 cm |
| Alto | 52 cm |
| Especificaciones eléctricas |
| Voltaje | 220 volts |
| Fases | 3 |
| Frecuencia | 60 Hz |
| Consumo | 1,8 KW/h |

Tabla 2 Principales características del molino a emplear en el proceso de obtención de ensilado (Fuente: elaboración propia).

El agitador se diseñó según la metodología descrita en la literatura (Rosabal, 2006)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Variable** | **Valor** | **Unidad** |
| Potencia | 1,20 | kW |
| Diámetro del agitador | 0,5 | m |
| Velocidad de rotación | 5 | Rev/s |
| Número de paletas | 3 | - |

Tabla 3 Características del agitador (Fuente: elaboración propia).

#### Diseño de Serpentín del tacho para la cocción del ensilado

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Q(kJ/h) | 1068953 | kJ/h |
| Q(W) | 296931,3 | W |
| Coeficiente total de transferencia de calor (Ud) | 300 | BTU/hpie2°F |
| Coeficiente total de transferencia de calor (Ud) (Tabla 8 Kern) | 1704 | W/m2°C |
| Diferencia de temperatura (Δt) | 92,48 | °C |
| Área (A) | 1,88 | m2 |
| Diámetro (D) | 0,1 | m |
| Longitud (L) | 6 | m |

Tabla 4 Datos utilizados en el diseño del serpentín (Fuente: elaboración propia).

En la propia industria se cuenta con una caldera de vapor para los procesos de escaldado. Esta caldera de fabricación cubana, cuenta con una capacidad de 1175 kg/h, una presión de 0,980 MPa, y trabaja a una temperatura de 225 oC. El vapor generado por la caldera es consumido en los procesos de escaldado y cocción de productos del área de conformado. A pesar de no contar con una eficiencia elevada, los volúmenes de producción no requieren el uso de todo el vapor generado por la misma por lo que existe disponibilidad de 655 kg/h, superior a los 507,30 kg/h requeridos para la cocción del ensilado. En la tabla 5 se muestran los resultados del vapor disponible.

|  |  |
| --- | --- |
| Vapor generado por hora | 1175 kg/h |
| Vapor consumido por hora | 520 kg/h |
| Vapor disponible | 655 kg/h |
| Vapor requerido para la cocción de ensilado | 507,30 kg/h |

Tabla 5 Vapor disponible para la producción de ensilado (Fuente: elaboración propia).

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Equipo | Número de equipos | Costo de adquisición (USD) | Referencia | Costo de adquisición total actualizado (USD) | Referencia |
| Molino Modelo:CM-42 con capacidad para 1,5 toneladas por hora | 1 | - | - | 5000 | <http://www.corproinsa.com/tienda/equipos/carnicerias/molinos-embutidoras/molino-cm42-detail/askquestion?tmpl=component> |
| Tacho de 1,5 m3 con capacidad para 1271,39 kg | 1 | 1800 | Peters (1991) Fig 15-13 | 2883,72 | Peters (1991) |
| Tanque mezclador de 2 m3 con capacidad para 1540 kg y agitador de hélice de 1,20 kW | 1 | - | - | 8000 | <https://spanish.alibaba.com/g/stainless-steel-mixing-tank-price.html> |
| Tanques de almacenamiento de PVC | 14 | - | - | 1400 | MINDUS |
| Bombas rotatorias de desplazamiento positivo | 2 | - | - | 3000 | [www.alibaba.com/product-detail/Food-grade-molasses-pumps-and-yogurt\_60433472997.html](http://www.alibaba.com/product-detail/Food-grade-molasses-pumps-and-yogurt_60433472997.html) |
| Bomba centrífuga (Del tacho hacia el mezclador) | 1 | 1200 | Peters (1991) Fig 14-41 | 1922,48 | Peters (1991) |
| Bomba centrífuga (Del mezclador hacia los tanques de almacenamiento) | 1 | 1400 | Peters (1991) Fig 14-41 | 2242,90 | Peters (1991) |
| Tuberías |  | 700 | Peters (1991) Fig 14-12 | 1121,45 | Peters (1991) |
| Total |  |  |  | 25570,55 |  |

Tabla 6Factores de costo y cálculo del costo total de inversión. (Fuente: elaboración propia).

### Costo Total de Producción (CTP)

Se utilizó los factores de proporción y las ecuaciones correspondientes tomando como referencia el libro Plant design and economics for chemical engineers ([Peters, 1991](#_ENREF_39))

$$CTP = Costo de fabricación (CFabricación) + Gastos Generales (GG)$$

$$CFabricación = Costos directos (CD) + Cargos Fijos (CFijos) + Costos Indirectos (CI)$$

$$GG = Distribución y venta (DV) + Administrativos (A) + Invest. y Desarrollo.(ID)$$

$$Depreciación=(CFI-VR)/Vd$$

Donde: VR (valor residual que se asume igual a cero) y Vd (vida útil igual a 15 años)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Materia prima** | **Precio ($/ton)** | **Precio ($/año)** |
| Vísceras | - | - |
| Benzoato de Sodio | 800 | 1520 |
| Melaza | 120 | 13680 |
| Sacarosa | 362 | 2758 |
| Inóculo | 160 | 6102,4 |
| **Total** |  | **24060,4** |

Tabla 7: Costo de la materia prima (Fuente: elaboración propia).

En el costo de la materia prima las vísceras no resultan en un costo adicional puesto que son obtenidas en la misma industria donde se realiza la propuesta de instalación de la planta. Ello reduce considerablemente el precio final y hace económicamente viable el proceso ya que el ensilado está compuesto en un 78,75 % por vísceras.

$$CTP=0,37 CTP+383940 =60943,80\frac{\$}{año}$$

El precio de venta del ensilado se fijó en $100 la tonelada. Este valor es relativamente bajo, considerando que en algunos países se comercializa a precios superiores a $400 el kilogramo. A pesar de ello con el funcionamiento de la planta se pudieran lograr elevadas ganancias las cuales se evidencian en el cálculo de los principales índices económicos.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Producto | Precio ($/tonelada) | Cantidad anual($/año) | Volumen de producción ($/año) |
| Ensilado biológico de pescado | 100 | 92491 | 9249100 |

Tabla 8 Datos empleados para el cálculo de la ganancia (Fuente: elaboración propia).

$$Ganacia(G)=Volumen de la producción\left(VP\right)-Costo total de la producción (CTP)$$

$$Ganacia\left(G\right)=9249100-92491=9156609 \frac{\$}{año}$$

|  |  |
| --- | --- |
| Índice | Valor  |
| VAN | 724417,62  |
| TIR | 40% |
| PRD | 1,7 años |

Tabla 9 Resultados del cálculo de los indicadores dinámicos. (Fuente: elaboración propia).

**4. Conclusiones**

1. La medida de reutilizar los desechos sólidos del procesamiento del pescado permite una reducción en todas las categorías de impacto analizadas mediante el programa Sima Pro 8.0.
2. Tras 75 días de experimentación las propiedades organolépticas, así como el pH muestran buenos resultados, siendo evidente la conservación del ensilado biológico por períodos de tiempo elevado.
3. Según la cantidad de desperdicio generados anualmente en la UEB Induvilla se puede implementar una planta para la elaboración de ensilado biológico de pescado con una producción de 924,91 toneladas al año.
4. Los indicadores económicos VAN y TIR, calculados para un período de 15 años, demuestran la aceptabilidad de la inversión necesaria para implementar la instalación de la planta de elaboración de ensilado biológico de pescado, haciéndose factible la inversión, obteniéndose un valor elevado del VAN. La TIR es factible ya que según la literatura esta debe ser mayor de que la tasa de interés (10 %). El tiempo de recuperación de la inversión es 1,7 años.

**5. Referencias bibliográficas**

1. ARECHE, N. 1992. Desarrollo de ensilado de residuo de pescado utilizando bacterias lácticas de yogurt en engorde. Roma: FAO.
2. BELLO, R. A. 1993. Experiencias con Ensilado de Pescado en Venezuela, Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos Universidad Central de Venezuela.
3. BERENZ, Z. 1994. Utilización de ensilado de residuos de pescado en pollos. Available: <http://www.fao.org/ag/aga/agap/frg/APH134/cap2.htm>.
4. DÍAZ, H. L. 2004. *Efecto de la suplementación con ensilaje de residuos de una planta procesadora de tilapia (Oreochromis niloticos) sobre el consumo voluntario y la digestibilidad de nutriente de heno de gramíneas y leguminosas tropicales. Tesis sometida en cumplimiento parcial de los requisitos para el grado en ciencias.* Universidad de Puerto Rico.
5. FELTHAM, W. 1983. Fish silage: the protein solution. Agriculture Canada Report. *In:* AGRICULTURE (ed.). Canada.
6. Ghaly, L. (2013). Fish processing wastes as a Potential Source of Proteins, Amino Acids and Oils. *Microb Biochem Technology,* 2, 15-18
7. GONZALES, D. 2005. Obtención de ensilados biológicos a partir de los desechos de procesamiento de sardinas. *Revista Científica, FCV-LUZ*
8. KJOS, N., OVERLAD, M. & SKREDE, A. 2000. Effects of dietary fish silage and fish fat on growth performance and meat quality of broiler chicks. *Canadian Journal of Animal Science.*
9. LEÓN, L. F. 2003. *Consumo voluntario y digestibilidad de nutrientes de heno de gramíneas tropicales nativas y ensilaje de sorgo y el efecto de la suplementación con residuos fermentados de pescadería.*, Universidad de Puerto Rico.
10. OLVERA, G. & WINTERG, S. 2002. Feasibility of fishmeal replacement by shrimp head silage protein hydrolysates in Nile Tilapia (Oreochromis niloticus) diet. *Science of Food and Agriculture.* New Englan
11. PARIN, M. & ZUGARRAMURDI, A. 1994. Tratamiento y utilización de desechos de origen animal y otros desperdicios en la ganadería. Available: <http://www.fao.org/ag/aga/agap/frg/APH134/cap4.htm>
12. PETERS, M. S. 1991. *Plant design and economics for chemical engineers,* United State.
13. ROSABAL, J y GARCELL, L. 2006. *Hidrodinámica y Separaciones Mecánicas*. Tomo I.Segunda edición. La Habana: Editorial Félix Varela.
14. TOLEDO, P. J. & LLANES, I. J. 2006. Estudio comparativo de los residuos de pescado ensilado por vía bioquímica y biológica. *AquaTIC.*
15. TOLEDO, P. J., LLANES, I. J. & VEGA, V. L. D. L. 2007. Máximo porcentaje de ensilado químico de pescado en la dieta de clarias gariepinus. *REDVET. Revista electrónica de veterinaria.*