

Universidad Zamorano
Departamento de Agronegocios
Ingeniería en Administración de Agronegocios



**Universidad
Zamorano®**

Proyecto Especial de Graduación

**Evaluación técnica y comparativa de costos en dietas balanceadas con
inclusión de *Lemna minor* como fuente proteica alternativa para tilapia
(*Oreochromis niloticus*)**

Estudiante

Orlando Rivera Nacher

Asesores

Wilmer R. Sánchez, Ph.D.

Patricio E. Paz, Ph.D.

Honduras agosto de 2025

Autoridades

KEITH L. ANDREWS

Rector i.a.

ANA M. MAIER ACOSTA

Vicepresidenta y Decana Académica

RAÚL SOTO

Director de Departamento de Agronegocios

JULIO NAVARRO

Secretario General

Contenido

Índice de Cuadros.....	5
Índice de Anexos	6
Resumen	7
Abstract	8
Introducción	9
Materiales y Métodos	13
Materiales	13
Diseño de la Investigación	13
Enfoque y Estudio del Estudio.....	13
Participantes del Estudio.....	13
Muestreo y Tamaño de la Muestra	13
Variables Evaluadas	14
Variables Bromatológicas.....	14
Variables en Planes Alimenticios.....	15
Variables Económicas.....	15
Procedimientos de Recolección de Datos	16
Recolección de Lemna minor	16
Análisis Bromatológico.....	17
Datos de Finca Productora de Tilapia “La Bendición”	22
Costos de Alimento Comercial	22
Asignación de Costos de Lenteja de Agua.....	23
Formulación de Dietas	24
Análisis Biológico de la Tilapia Bajo el Consumo de Dietas con Inclusión de Lenteja de Agua.....	25
Análisis Económico.....	25
Resultados y Discusión.....	30

Recolección de <i>Lemna minor</i>	30
Análisis Bromatológico <i>Lemna minor</i>	31
Planes Alimenticios Elaborados	31
Análisis Biológico de la Tilapia Bajo el Consumo de Dietas con Inclusión de Lenteja de Agua	33
Análisis Económico	35
Análisis de Costos de Oportunidad	35
Análisis Marginal	36
Análisis de Escalabilidad del Sistema de Producción de Lemna	37
<i>Indicadores Financieros</i>	38
Punto de Equilibrio Financiero	39
Rentabilidad Bruta	40
Discusiones	40
Conclusiones	42
Recomendaciones	43
Referencias	44
Anexos	47

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Datos recolectados de la producción de la Lenteja de Agua	30
Cuadro 2 Análisis bromatológico de Lemna minor	31
Cuadro 3 Modelos formulados y balanceados.....	33
Cuadro 4 Composición química de la harina de Lemna sp. (Gonzales Salas, 2013)	34
Cuadro 5 Comportamiento de los indicadores productivos (Gonzales Salas, 2013)	35
Cuadro 6 Costo de oportunidad en la implementación de modelos elaborados con Lemna minor	36
Cuadro 7 Análisis Marginal en los diferentes Modelos Evaluados.....	37
Cuadro 8 Análisis de escalabilidad en la producción de harina de Lemna minor	38
Cuadro 9 Indicadores Financieros de Flujo de Efectivo Operativo	39
Cuadro 10 Rentabilidad Bruta de los modelos alimenticios	40

Índice de Anexos

Anexo A Recolección de Lemna minor	47
Anexo B Análisis Bromatológico de Lemna minor	50
Anexo C Precios de Alimento Balanceado para Tilapia en Honduras	54

Resumen

El presente estudio evaluó la viabilidad técnica y económica de incluir *Lemna minor* como fuente proteica alternativa en la alimentación de tilapia (*Oreochromis niloticus*), en respuesta al impacto de los elevados costos de insumos importados como la soya. Se desarrolló una producción empírica de *Lemna minor*, alcanzando un rendimiento de 6 % de materia seca, cuya composición bromatológica reveló un 14.3% de proteína y 35% de fibra, entre otros componentes clave. Estos datos sirvieron para formular tres modelos de dietas balanceadas que reemplazaron parcialmente el aporte proteico del maíz del alimento comercial en las fases de pre-engorde y engorde. Las dietas fueron diseñadas para mantener el perfil nutricional de referencia, cuidando no superar el 9% de fibra cruda, nivel límite para una digestión eficiente en tilapia. El análisis económico demostró reducciones progresivas en el punto de equilibrio expresado en el precio de venta unitario (Kg) de hasta (USD 0.14 menos), evidenciando una mejora significativa en la rentabilidad productiva dado al mayor margen entre el precio equilibrado y el precio de venta establecido por la finca “La Bendicion”. La escalabilidad de la producción de *Lemna minor* mostró claras economías de escala, reduciendo el costo unitario hasta (USD 0.07/Kg) mayor superficie cultivada. Los modelos alimenticios con inclusión de lenteja de agua demostraron ser técnicamente equivalentes al concentrado comercial y más competitivos financieramente, sin comprometer la eficiencia productiva. Este enfoque permite reducir la dependencia de insumos importados, mejorar el margen operativo y fortalecer la sostenibilidad del sector acuícola en Honduras.

Palabras clave: Dieta balanceada, *Lemna minor*, proteína alternativa, reducción de costos, sostenibilidad, tilapia.

Abstract

This study evaluated the technical and economic feasibility of incorporating *Lemna minor* as an alternative protein source in diets for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*), addressing the challenges posed by rising prices of imported ingredients such as soybean meals. Empirical cultivation of *Lemna minor* yielded a dry matter conversion rate of 6%, with bromatological analysis revealing 14.3% crude protein and 35% crude fiber, among other essential nutrients. Based on these results, three balanced diet models were formulated, partially replacing commercial feed during the pre-fattening and fattening phases. Diets were designed to maintain the nutritional standards of commercial reference feed, limiting fiber content to below 9% to ensure proper digestibility and feed conversion efficiency. The economic analysis revealed progressive reductions at the break-even point, expressed as the unit selling price (per kg), of up to USD 0.14 less. This reflects a significant improvement in productive profitability due to the wider margin between the break-even price and the selling price set by the “La Bendición” farm. Results indicate that *Lemna minor*-based diets are nutritionally comparable to conventional food while offering significant cost advantages. This substitution strategy enhances feed autonomy, reduces production costs, and promotes economic sustainability in Honduran aquaculture. Moreover, prior experimental data support the biological viability of *Lemna*-based diets, showing no adverse effects on growth or survival in tilapia. The study concludes that *Lemna minor* is a promising, scalable, and cost-effective ingredient for tilapia production systems.

Keywords: Alternative protein, aquaculture economics, cost reduction, feed formulation, *Lemna minor*, tilapia.

Introducción

En los sistemas de producción pecuaria, la alimentación representa uno de los componentes más significativos en términos de costos operativos, llegando a constituir entre el 60% y el 70% del gasto total, lo cual afecta de manera directa la viabilidad económica de las actividades productivas (Villena Cortez et al., 2017). Esta situación se agrava por el alto precio de los ingredientes proteicos esenciales, como la harina de soya, cuyo valor ha mostrado aumentos sostenidos en los últimos años debido a su dependencia de mercados internacionales. Esta materia prima, ampliamente utilizada en la elaboración de alimentos balanceados, es importada en grandes volúmenes por muchos países latinoamericanos, lo que somete a sus productores agropecuarios a una alta vulnerabilidad económica frente a las fluctuaciones del mercado internacional (Valencia R. et al., 2010).

El desarrollo de dietas alternativas basadas en fuentes locales de proteína vegetal no solo representa una estrategia efectiva para reducir los costos de producción, sino que se alinea con los principios de sostenibilidad que actualmente impulsan la transformación del sector agropecuario a nivel global. Muchos países en desarrollo enfrentan una fuerte dependencia de insumos importados para llevar a cabo sus sistemas productivos. Esto los expone a vulnerabilidades económicas ante la volatilidad de precios internacionales y cambios en el comercio mundial, además de tener un impacto negativo en temas ambientales debido al uso intensivo de recursos como el transporte de dichos insumos y sus emisiones generadas. OECD-FAO recalca la importancia de fomentar el aprovechamiento de recursos endógenos y la adopción de sistemas de producción más resilientes, eficientes y ambientalmente sostenibles (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos [OECD], 2021). Esta transición hacia modelos productivos más autónomos y circulares, centrados en la valorización de insumos regionales, es clave para garantizar la viabilidad económica y ambiental de las unidades pecuarias frente a los desafíos de seguridad alimentaria, cambio climático y presión sobre los recursos naturales.

A nivel global, el consumo de proteínas varía considerablemente, influenciado por factores como la disponibilidad de recursos, tradiciones culturales y la diversidad gastronómica de cada región.

No obstante, algunas fuentes proteicas destacan por su predominancia en la dieta mundial. En 2023, el pescado alcanzó un consumo global de 165 millones de toneladas métricas, seguido por la carne de aves con 140 millones de toneladas métricas (Orus, 2024). Estas cifras reflejan la elevada demanda del sector acuícola y el potencial de crecimiento que este posee. Dentro de este contexto, la tilapia se posiciona como una de las especies más consumidas, gracias a su sabor suave y a su eficiente tasa de conversión alimenticia, que varía entre 1.30 kg y 2.14 kg, lo cual permite obtener altos rendimientos y ciclos de producción cortos (Zafra Trelles et al., 2019).

En Honduras, las actividades de pesca han experimentado un crecimiento significativo. Entre los años del 2015 al 2019 se vio reflejado un aumento del 5.9% en el Valor Agregado Bruto, pasando de USD 89.15 a USD 111.96 millones, contribuyendo en 0.52 puntos porcentuales al sector agrario y participando en sí en el 9.5% del PIBA demostrando el crecimiento del rubro a lo largo de los años y su importancia para el país (Secretaría de Agricultura y Ganadería [SAG], 2020). En el 2020, la exportación de filete de tilapia alcanzó un total de 8,304 Tm, generando USD 53.91 millones en divisas (SAG, 2020). En el mercado americano, Asia continúa liderando las exportaciones seguido por Honduras, Colombia y Costa Rica como los mayores proveedores de filetes refrigerados de tilapia en Latinoamérica (Comisión de Promoción del Perú para la Exportación y el Turismo [PROMPERÚ], 2022).

Redacción Hondudiario señala lo mencionado por la Federación de Agricultores y Ganaderos de Honduras (FENAGH), en 2023 se destacó la dificultad de sustituir la importación de insumos clave como el maíz y la soya para la elaboración de alimentos animales. El director de la FENAGH calculó que serían necesarios 17 millones de quintales de maíz solo en semilla, lo que implicaría una inversión significativa del Gobierno para financiar la producción local de este insumo. Además, casi el 100% de la soya consumida a nivel nacional es importada, sumando un total de 330,000 toneladas de harina proveniente de los Estados Unidos, debido a la ausencia de cultivo local de este grano (Redacción Hondudiario, 2023). Esta dependencia de insumos extranjeros genera riesgos tanto económicos como en términos de la demanda nutricional, afectando la sostenibilidad del sector agropecuario. Ante este contexto, surge la necesidad de explorar alternativas proteicas accesibles, sostenibles y viables que

permitan reducir los costos de producción y aumentar la autonomía en la producción de proteínas. A partir de esta premisa, en el presente proyecto se evaluó la viabilidad de incluir *Lemna minor* como fuente proteica alternativa en dietas para tilapia, considerando aspectos nutricionales, biológicos y económicos. Se decidió evaluar el perfil nutricional de *Lemna minor* producida empíricamente para posteriormente integrarlo a las dietas utilizadas. Se realizó un análisis biológico dado a la ausencia de un experimento zootécnico en vivo y consecuentemente se integraron herramientas económicas para evaluar su impacto bajo una producción de tilapia.

Si se incorpora una fuente alternativa de proteína vegetal de producción local en la dieta de engorde de tilapia, entonces es posible reducir los costos de alimentación y mejorar la rentabilidad del cultivo, sin comprometer el crecimiento ni la eficiencia productiva de los peces.

Lemna minor, también conocida como lenteja de agua, es una planta acuática macrófita, angiosperma, monocotiledónea perteneciente de la familia Lemnáceas. Es una planta monoica, con flores unisexuales y su forma de reproducción más común es la asexual por gemación. *Lemna minor* muestra una notable capacidad de adaptación, desarrollándose en rangos de temperatura entre 5 °C y 30 °C, con un crecimiento óptimo entre los 15 °C y 18 °C. Tolera diversas condiciones de luminosidad y un amplio rango de pH, entre 4.5 y 7.5. Se reproduce con facilidad en cuerpos de agua tranquilos dulces y ricos en nutrientes, especialmente nitrógeno y fósforo (Arroyave, 2004b).

Cuando se encuentra en condiciones óptimas de temperatura, pH, luz y concentración de nutrientes, puede duplicar su biomasa en un periodo de 16 horas a dos días, superando incluso a plantas terrestres de rápido crecimiento. Su contenido proteico, que puede alcanzar hasta un 38% de su biomasa, la convierte en una alternativa valiosa tanto para la alimentación humana como animal. Estas características han generado un interés en los últimos años debido a sus múltiples propiedades de reproducción, alta adaptabilidad a diferentes medios, valores nutricionales y su amplia extensión por todo el mundo, América, Europa, Asia, Australia y Nueva Zelanda, (Arroyave, 2004a).

El proyecto se llevó a cabo parcialmente en la unidad de acuicultura de Zamorano, en la reproducción de la lenteja. En el laboratorio de análisis de alimentos Zamorano (LAAZ) y proyectado para el engorde de tilapia de la finca “La Bendición” mediante planes alimenticios formulados con una fuente vegetal alterna. Se evaluaron tanto los aspectos técnicos, como la composición nutricional del alimento, como su impacto económico a través de la comparación de costos e ingresos frente a dietas comerciales. Aunque su implementación fue en un contexto experimental y teórico, sus resultados podrán aplicarse en unidades productivas similares.

El objetivo general del estudio fue evaluar la viabilidad técnica y económica de incluir *Lemna minor* como fuente proteica alterna en dietas para tilapia. Para ello, se evaluó el perfil nutricional de *Lemna minor* producida empíricamente y su viabilidad como fuente proteica en dietas para tilapia, se analizó el efecto biológico del consumo de dietas con *Lemna minor* en tilapia basado en evidencia experimental documentada y finalmente se evaluó el impacto económico de incluir *Lemna minor* en dietas de engorde de tilapia mediante herramientas.

Entre las limitaciones del estudio, está la ausencia de un ensayo zootécnico en vivo, lo que impide confirmar el efecto real de las dietas formuladas sobre el crecimiento y la conversión alimenticia en tilapia.

Materiales y Métodos

Materiales

Los materiales utilizados para llevar a cabo el proyecto incluyeron la recolecta de semilla de lenteja de agua por cada uno de los 10 ciclos realizados, ocho recipientes plásticos de 200 litros cada uno, agua proveniente de las piscinas experimentales con tilapia. Dos mayas de secado, una báscula digital para el pesaje del material vegetal, materiales de laboratorio para la elaboración del análisis bromatológico, detalladas en anexos y la herramienta ZAMOMIX, utilizada para el balanceo de las dietas experimentales.

Diseño de la Investigación

Enfoque y Estudio del Estudio

El estudio tuvo un enfoque cuantitativo donde se elaboraron tres planes alimenticios con diferentes inclusiones de lenteja de agua (*Lemna minor*) como sustituto parcial de proteína en la alimentación para tilapia, comparándolas con una dieta comercial utilizada en la finca “La Bendición”, empresa productora de tilapia ubicada en el Lago de Yojoa, Honduras.

Participantes del Estudio

En esta fase experimental no se utilizaron organismos vivos; los participantes del estudio fueron las muestras de lenteja de agua recolectadas para su análisis bromatológico y posterior inclusión en formulaciones dietarios. También participaron dietas comerciales previamente utilizadas en sistemas productivos, las cuales sirvieron como referencia para la comparación económica y técnica.

Muestreo y Tamaño de la Muestra

Se recolectaron 8.6 kg de lenteja de agua en estado crudo, procesadas mediante deshidratación natural hasta obtener 0.56 kg de harina seca, la cual fue enviada al laboratorio para su análisis. Las mediciones se realizaron en dos repeticiones.

Variables Evaluadas

En este estudio se analizaron tres grupos principales de variables: bromatológicas, económicas y alimenticios, seleccionadas en función de su relevancia para valorar la viabilidad técnica y económica de incluir *Lemna minor* como sustituto parcial en dietas de engorde de tilapia.

Variables Bromatológicas

Estas variables fueron tomadas en cuenta para determinar el perfil nutricional del insumo y su potencial para reemplazar fuentes proteicas convencionales:

Contenido de Humedad (%H).

Esta variable permite conocer el porcentaje de agua presente en la muestra seca. Su evaluación es necesaria porque influye directamente en la concentración real de nutrientes por unidad de peso seco. Al conocer el contenido de humedad, se puede calcular con precisión el valor nutritivo neto que aporta el ingrediente a la dieta.

Proteína Cruda (%).

Es la variable de mayor interés debido a que la proteína es el componente esencial en el crecimiento de peces. Determinar su concentración permite valorar si la *Lemna minor* puede sustituir, total o parcialmente, ingredientes como la soya, maíz o la harina de pescado en términos de aporte proteico.

Cenizas (%).

Representan el contenido mineral del insumo. Este valor es importante para garantizar que la dieta mantenga un equilibrio de minerales esenciales, necesarios para la salud ósea, enzimática y metabólica del pez. Un exceso puede implicar impurezas o contenido inorgánico no deseado.

Grasa (%).

Las grasas son fuente de energía y ayudan en la absorción de vitaminas liposolubles. Se midió su porcentaje para conocer el valor calórico del ingrediente, ya que una dieta balanceada debe cumplir con los requerimientos energéticos de la tilapia.

Fibra Cruda (%).

Estudios realizados han demostrado que la fibra no es un componente necesario para las dietas alimenticias, ya que muestran que se obtiene un buen crecimiento sin ellas. Sin embargo, la fibra bruta puede contribuir como diluyente para una distribución de nutrientes uniforme para el organismo (Ying Sun et al., 2019) .

Carbohidratos (%).

Calculados por diferencia, los carbohidratos también aportan energía. Esta variable permite completar el perfil nutricional y determinar la proporción de macronutrientes aportada por la *Lemna minor*.

Variables en Planes Alimenticios**Inclusión de Lenteja de Agua (%).**

Esta variable permite evaluar y comparar el desempeño económico de tres planes alimenticios con diferentes inclusiones de *Lemna minor* con el plan alimenticio comercial. Cada plan compuesto por tres diferentes dietas para cada fase productiva empleada en la finca “La Bendición”, pre-engorde, engorde 1 y engorde 2. Dicha asignación de inclusión de *Lemna* fue establecida en base a parámetros técnicos y estudios realizados previamente.

Variables Económicas

Las variables económicas jugar un papel importante en evaluar si los modelos con diferentes inclusiones de *Lemna minor* son viables desde el punto de vista financiero y económico.

Análisis de Costos de Oportunidad.

El análisis de costos de oportunidad económico es implementado cuando se desea tomar la mejor decisión entre diferentes inversiones o alternativas. Refleja el beneficio económico que se pudo haber percibido de haberse implementado la mejor alternativa (D. Torres, 2023).

Análisis Marginal.

El análisis marginal tiene como objetivo examinar monetariamente los beneficios adicionales obtenidos bajo la implementación de los diferentes modelos alimenticios, en comparación a sus costos incurridos a lo largo de la producción (Pedrosa, 2016).

Flujo de Efectivo e Indicadores Financieros.

El flujo de caja o efectivo operativo tiene como objetivo medir los flujos de efectivo generados por una compañía bajo un horizonte de tiempo específico. Está compuesto por las entradas y salidas relacionado directamente a la producción y venta de los productos ofrecidos por la compañía (Dara Abasi, 2025). Con dicho flujo se establecieron los siguientes indicadores: Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR).

Punto de Equilibrio Financiero.

El análisis de punto de equilibrio es una técnica financiera en el que se evalúa el ingreso total compuesto por volumen productivo y ventas, en relación con los costos totales (Chagolla Farías, s.f.). Esta herramienta permite a través de un cálculo identificar el momento en que los ingresos cubren los gastos incurridos de esta. En el siguiente estudio se realizó un punto de equilibrio financiero en el precio de venta por unidad (Kg) de tilapia. Es decir, se calculó el precio de venta donde los ingresos igualan los costos variables.

Escalabilidad Económica de la Producción de *Lemna minor*.

El análisis de escalabilidad económico tiene como objetivo evaluar la capacidad de una producción o proyecto a expandirse o contraerse, satisfaciendo las demandas fluctuantes del mercado (Alonso, 2025).

Procedimientos de Recolección de Datos

Recolección de Lemna minor

Biomasa Cruda.

La lenteja de agua (*Lemna minor*) fue cultivada en ocho recipientes plásticos con capacidad de 200 L cada uno, y una superficie un metro cuadrado. Para iniciar el cultivo, se empleó semilla de *Lemna minor* y el medio acuático previamente extraída de un estanque de engorde de tilapia en reposo. Las unidades de cultivo se mantuvieron en un entorno al aire libre bajo una malla sombra exponiéndola a luz indirecta, condiciones que favorecieron una cobertura completa del área en 3 a 4 días. El proceso productivo se compuso por la recolecta de semilla de *Lemna minor*, cosecha del 100% de la lenteja de todos los recipientes utilizados y siembra de la semilla recolectada para comenzar el próximo lote

productivo. Con la biomasa cosechada se trasladó al laboratorio de la unidad de acuicultura para pesar la materia cruda y proceder al proceso de secado.

Secado.

La biomasa cruda recolectada se sometió a un proceso de deshidratación utilizando un método natural. Esta consistió en colocar la lenteja sobre mallas para incentivar el flujo de humedad y se colocó en una ubicación techada sin exposición directa a la radiación solar y con flujo constante de aire para promover el secado. Esta técnica fue seleccionada para evitar la degradación de compuestos termo sensibles, preservar la calidad nutricional del insumo y es la vía más económica (Lawson, 1973). Cada tanda de secado duró entre 3 a 4 días, donde se procedió a pesar la biomasa seca. Debido a la capacidad de espacio disponible, se realizaron 10 cosechas consecutivas hasta alcanzar una libra de materia seca, cantidad mínima solicitada por el laboratorio para realizar los análisis bromatológicos.

Con base en los datos obtenidos a partir de los pesajes de la biomasa en estado fresco y seco, se calculó el rendimiento de producción en función de la materia seca usando la fórmula 1 (Ganadero, 2017).

$$\%MS = 100 - \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso seco}}{\text{Peso inicial}} \times 100 \quad [1]$$

Donde:

%MS: Rendimiento en materia seca

Análisis Bromatológico

El análisis nutricional fue ejecutado por el Laboratorio de Análisis de Alimentos de Zamorano (LAAZ), bajo protocolos estandarizados y validados por, "Association of Official Analytical Chemists (AOAC)". Las pruebas incluyeron humedad (950.46B), cenizas (923.03), grasa (2003.06), proteína (2001.11), fibra (962.09) y carbohidratos (por diferencia). Cada muestra se preparó en estado de harina, obtenida tras el proceso de secado, y fue evaluada en dos repeticiones para aumentar la

confiabilidad de los resultados. Estos datos fueron fundamentales para determinar el valor nutricional de la lenteja he incluir a una dieta balanceada.

Análisis de Humedad.

Se pre secaron dos crisoles de porcelana donde se colocaron las muestras en un horno a 102 °C por la noche. Se sometieron los crisoles a un desecador por 30 minutos y se registró el número y peso de estos. Se pesaron 3 g de muestra más el peso del crisol y se introdujeron al horno de convección a 102 °C por 18 horas. Se sometieron los crisoles a un desecador por 30 minutos y se registró el número y peso de estos. (Soderberg, 2018).

Los cálculos utilizados para la determinación de humedad se presentan en las fórmulas 2 y 3:

$$\text{Peso de muestra} = (T + S) - (T) \quad [2]$$

$$\%H = \frac{(T+S)-(T+MS)}{(S) \times 100} \quad [3]$$

Donde:

S: Peso de la muestra

F: Peso de crisol con muestra

T: Peso de crisol vacío

MS: Materia seca

Análisis de Cenizas.

Se pre secaron dos crisoles a utilizar en el horno a 102 °C por toda la noche y se enfriaron en desecador por media hora. Se registro el peso y número de crisol más el peso de 3 g de muestra. Se sometió a incinerar en la mufla a una temperatura de 550 °C hasta que el color de la ceniza se torne gris claro. Se enfriaron los crisoles en desecador por media hora hasta llegar a temperatura ambiente y se registraron los pesos de los crisoles más las cenizas (Hennigs, 2020). El cálculo de cenizas se hizo con la fórmula 4:

$$\%Ceniza = \frac{(T + S) - (T)}{S} \times 100 \quad [4]$$

Donde:

S: Peso de la muestra

T: Peso de crisol vacío

Análisis de Grasas.

Se pesaron dos muestras de 5 g y se ingresaron a unos filtros de celulosa. La muestra se sometió a una extracción con hexano caliente mediante el sistema Soxtec 8000 dejando únicamente la grasa extraída. Las muestras se secaron a temperatura controlada y se pesaron para determinar el contenido de grasa. Se usó la fórmula 5 para el cálculo:

$$\%Grasa Cruda = \frac{F - T}{S} \times 100 \quad [5]$$

Donde:

S: Peso de la muestra

F: Peso de crisol con muestra

T: Peso de crisol vacío

Análisis de Proteínas.

Se pesaron dos muestras de 1 g cada una, las cuales fueron envueltas en papel parafina e introducidas en tubos de digestión. A cada tubo se le añadieron dos tabletas catalizadoras compuestas por sulfato de potasio y sulfato de cobre, junto con 12 mL de ácido sulfúrico concentrado. Posteriormente, los tubos fueron colocados en el digestor a una temperatura de 420 °C durante 60 minutos, y luego se dejaron enfriar entre 10 y 20 minutos.

Una vez finalizado el proceso de digestión, se procedió a la destilación utilizando un equipo tipo Kjeltex. En esta etapa, se añadieron 80 mL de agua destilada, 50 mL de hidróxido de sodio al 40% y 30 mL de ácido bórico al 4%. Cada muestra fue destilada por separado durante cuatro minutos.

Finalmente, la solución obtenida se tituló con ácido clorhídrico utilizando un indicador de color, lo que permitió determinar el porcentaje de proteína en la muestra en función del volumen de ácido consumido (Association of Official Analytical Chemists [AOAC], 2001). Esta variable se calculó con las fórmulas 6 y 7:

$$\% \text{Nitrogeno Kjeldahl} = \frac{(V_s - V_b) \times M \times 14.01}{W \times 10} \quad [6]$$

Donde:

Vs: Volumen de HCl gastado con la muestra (mL)

Vb: Volumen de HCl gastado en el blanco (mL)

M: Molaridad del HCl

W: Peso de la muestra (g)

14.01: Peso atómico del nitrógeno

$$\% \text{Proteina Cruda} = \% \text{NK} \times F \quad [7]$$

Donde:

F: 6.25 (utilizado para la mayoría de los alimentos)

%NK: Nitrógeno Kjeldahl

Análisis de Fibra Cruda.

Se pesaron dos muestras de 3 g cada una, las cuales fueron colocadas dentro de papel filtro. A continuación, se conectó el embudo Büchner al matraz de filtración y se transfirió cada muestra a un vaso Berzelius de 600 mL para la digestión ácida. Se agregaron 200 mL de ácido sulfúrico (H₂SO₄) y una gota de antiespumante, junto con perlas de ebullición. Las muestras se calentaron durante 30 minutos, con agitación frecuente. Posteriormente, se enjuagó cada vaso con 60 mL de agua hirviendo y se filtró el contenido.

Para la digestión alcalina, el residuo retenido en el filtro se transfirió nuevamente al vaso Berzelius y se añadieron 200 mL de hidróxido de sodio (NaOH). La mezcla se hirvió durante 30 minutos, repitiendo el procedimiento de agitación y filtrado.

Finalmente, los papeles filtro que contenían las muestras y las muestras blancas (de control) fueron colocados en crisoles y secados durante dos horas a 130 °C. Luego se enfriaron en un desecador y se incineraron a 600 °C durante 30 minutos. Tras un nuevo enfriamiento, se procedió al pesaje final de los residuos para determinar el contenido de fibra cruda. (UC Davis Analytical Laboratory, 2017). Esta variable se calculó con la fórmula 8:

$$\%Fibra\ Cruda = \frac{F - T}{S} \times 100 \quad [8]$$

Donde:

F: Peso del papel filtro con muestra

T: Peso de blanco

S: Peso de muestra

Análisis de Carbohidratos.

El contenido de carbohidratos se determinó por diferencia, conforme al método estándar utilizado en análisis bromatológicos. Para ello, se sumaron los porcentajes obtenidos de proteína cruda, grasa (extracto etéreo), humedad, cenizas y fibra cruda, y dicho total se restó de 100. El valor resultante correspondió al porcentaje de carbohidratos presente en las muestras analizadas (Hennigs, 2020).

$$\%Carbohidratos = 100 - (P + G + H + F + C) \quad [9]$$

P: Proteína

H: Humedad

G: Grasa

F: Fibra

C: Cenizas

Datos de Finca Productora de Tilapia “La Bendición”

Dado a que el objetivo es conocer el impacto económico de la integración de los nuevos planes alimenticio con inclusión de lenteja se requirió de datos reales de mercado por lo que se eligió trabajar con una empresa productora de tilapia ubicada en el lago de Yojoa Honduras, “La Bendición”. Se hizo un acercamiento con el propietario, quien brindó la siguiente información: Tamaño de lote empleado (5,000 m²), peso inicial de la tilapia y final (30-500g), densidad de siembra (15 peces/m³), sistema de alimentación empleada (pre-engorde (30 días), engorde 1 (90 días) y engorde 2 (30 días)), conversión alimenticia (1.4), tasa de mortalidad (30%), tiempo productivo (150 días), costos de producción (variables) y precio de compra (USD 3.5/kg). Los requerimientos nutricionales por fase de crecimiento se establecieron con base a una ficha brindada por “Comercial La Roca”, distribuidor de dicha empresa donde especifica cada porcentaje de proteína cruda a utilizar de acorde al rango de peso de la tilapia. Dicho dato fue utilizado como referencia para la elaboración de las nuevas dietas con inclusión de lenteja de agua (Nuñez, s.f.).

Con los datos recopilados se simuló su producción en una plantilla de Excel para obtener sus costos totales alimenticios tomando en cuenta la tasa de mortalidad y conversión alimenticia. En dicha plantilla se integraron también los posibles costos al integrar los modelos alimenticios elaborados con *Lemna minor*.

Costos de Alimento Comercial

Los costos del alimento comercial utilizados fueron brindados por la distribuidora oficial de Alcón, “Comercial la Roca”, Honduras, vía teléfono. Estos datos detallaron los precios para cada uno de los diferentes alimentos variando su aporte proteico.

Asignación de Costos de Lenteja de Agua

Para la recolección de los costos de la lenteja de agua, se procedió a analizar la producción de esta y extraer datos que fueran relevantes para la asignación de su costo. Primeramente, se identificaron los posibles costos de producción y tomando en cuenta que la reproducción de la lenteja de agua es bien versátil se tomó la infraestructura como un activo dado, no incluyéndola como parte de los costos, no requiere uso de energía, combustible fertilización, dejando la mano de obra como único costo. Para obtener un costo más certero se extrapoló la producción, pero manteniendo el mismo horizonte de tiempo de un mes. Se designó un área de 3,500 m², área que se consideró ser factible para un solo jornalero y tomando en cuenta el aumento de escala se designó un horario laboral diario completo, compuesto de ocho horas hábiles. Utilizando el tiempo entre cosechas, en la producción realizada, se designaron dos días hábiles por semana sumando un total de ocho días hábiles por mes. El pago del jornalero se asignó de acorde al valor estipulado por la dirección general de salarios de Honduras en la que estipula que el salario mínimo tiene una suma de USD 473 mensuales o USD 2.5 por horas (Secretaría de Trabajo y Seguridad Social [STSS], 2024).

Para la parte productiva de dicha extrapolación se consideró una densidad de siembra de 50 g por metro cuadrado y se utilizó una tasa relativa de crecimiento (TRC) de 14.5%, tratamiento control de un estudio realizado en Colombia donde se evaluó los diferentes TRC bajo diferentes medios. De dicha fuente también se extrajo la fórmula utilizada para estimar la biomasa seca total producida de un área estipulada en función al tiempo (Sierra Cuello et al., 2016). Por último, se utilizó el rendimiento en materia seca obtenida de la producción realizada. Con los datos establecidos se calculó la biomasa seca total producida, y el costo de la lenteja de agua por kilogramo calculadas con las fórmulas 10 y 11:

$$\text{Biomasa seca total} = [(N_0 \times e^{(TRC-t)}) \times 3,500] \times \%MS \quad [10]$$

Donde:

No: biomasa inicial/m²

e: Numero de Euler, utilizado por el tipo de crecimiento exponencial

t: Tiempo

TRC: Tasa relativa de crecimiento

%MS: Rendimiento en materia seca

Costo de producción por kg.

$$$/kg = \frac{\text{Costos de produccion}}{\text{Biomasa seca total}} \quad [11]$$

Formulación de Dietas

Utilizando los datos obtenidos del análisis bromatológico, se elaboraron tres planes alimenticios con diferentes porcentajes de inclusión de lenteja para cada uno. Dichos planes alimenticios fueron diseñados asemejando lo mayor posible al aporte nutricional de las dietas comerciales utilizadas en la finca “La Bendición”. La dieta empleada y utilizada como referencia es la estándar de la marca Alcón, integrada habitualmente en la producción de tilapia a nivel Nacional.

El plan alimenticio integrado en la finca posee tres dietas con diferentes duraciones para cada uno siendo pre-engorde (30 días), engorde 1 (90 días) y engorde 2 (30 días). De igual manera el aporte nutricional, principalmente proteico fluctúa según su fase productiva: pre-engorde (40%) de proteína, engorde 1 (38%) y engorde 2 (32%).

Dichos planes fueron interpretados como modelos, el objetivo fue analizar una dieta con una baja inclusión de lenteja, una media y una con la máxima inclusión de lenteja posible. Se seleccionó un rango de inclusión del 5% hasta el 13% con base en estudios previos como Gonzales Salas (2013), que documentó efectos positivos en crecimiento y un índice de conversión alimenticia (ICA) con inclusiones de 6% hasta 18% en alimentos balanceados. Los modelos utilizados fueron, modelo #1 con una inclusión de lenteja de 5% para cada fase, modelo #2, 10% para cada fase y el modelo #3 compuesto por una inclusión de 10% en fase de pre-engorde, 12% en las fases de engorde #1 y 13% en la fase de engorde #2.

La formulación se realizó mediante el método de sustitución, utilizando la plantilla de Excel “ZAMOMIX 2025”, proporcionada por Zamorano, la cual integra los valores nutricionales de cada insumo añadido y los precios estimados de los insumos disponibles en el mercado local. En esta plantilla se insertaron los valores nutricionales de la lenteja, al igual que el costo por kg. Dicha plantilla establece el precio costo del alimento elaborado y se le agregó un porcentaje que representarían los costos de producción y margen de ganancia. Semejando nutricionalmente las dietas elaboradas a las utilizadas actualmente por la finca, nos permitió aislar la variable económica, permitiendo reflejar únicamente el cambio en costo de elaboración.

Análisis Biológico de la Tilapia Bajo el Consumo de Dietas con Inclusión de Lenteja de Agua

Dado a que no se llevó a cabo un experimento, evaluando los efectos biológicos de dichas dietas en el suministro para un proceso de engorde de tilapia, se realizó un análisis biológico sustentado por experimentos realizados previamente. Este análisis tuvo como objetivo conocer y analizar los efectos reales del cultivo de tilapia cuando es alimentada con Lenteja de agua o dietas con inclusión de esta. Se consideraron variables como: Diferentes volúmenes de lenteja suministrada y el efecto biológico tras suministración de estas dietas con inclusión de *Lemna minor*.

Análisis Económico

El análisis económico tuvo como finalidad determinar si la inclusión de *Lemna minor* como fuente parcial de proteína en las dietas para tilapia representaba una alternativa viable desde el punto de vista financiero y económico. Para ello, se aplicaron cuatro herramientas fundamentales: Costo de oportunidad por sustitución de insumos de alto valor, análisis marginal entre los modelos elaborados y el modelo comercial, análisis de escalabilidad para la producción de lenteja, un flujo de efectivo operativo, punto de equilibrio financiero y rentabilidad bruta.

Todas realizadas en la plantilla previamente elaborada en Excel con los datos proporcionados por la finca “La Bendición”.

Análisis de Costos de Oportunidad por Sustitución de Insumos Importados.

En dicho análisis se integró el costo de oportunidad de haber implementado cada uno de los tres modelos alimenticios en el engorde de tilapia a diferencia del plan actualmente utilizado. Dicha oportunidad se proporcionó a través de una fórmula matemática, reflejando el costo tanto por unidad como por un lote total producido, reflejado en la fórmula 13:

$$\text{Costo de oportunidad} = \text{Costo actual} - \text{Costo de alternativa} \quad [13]$$

Análisis Marginal.

El análisis marginal empleado tuvo como objetivo identificar el costo del alimento por (Kg) de tilapia producida. Este fue dirigido a los 4 modelos alimenticios tomando en cuenta precio por (Kg) de alimento, índice de conversión alimenticia (ICA) y precio de venta por (Kg). Con ello se obtuvo el costo por (Kg) de tilapia producida y consecuentemente la ganancia bruta por Kg. Se compararon los 3 modelos con diferentes inclusiones de *Lemna minor* al modelo comercial para revelar el análisis marginal en el que expresa la ganancia adicional por (Kg) producida. Por último, se escaló a la ganancia adicional por lote. Para ejecutar el análisis marginal se utilizaron las fórmulas 14, 15:

$$\text{Costo del } \frac{\text{alimento}}{\text{Kg}} \text{ tilapia producido} = \text{Precio por Kg alimenticio} \times \text{ICA} \quad [14]$$

Donde:

$$\text{ICA: Índice de conversión alimenticia} \text{Ganancia Bruta por Kg tilapia producido} = \frac{\text{Precio de venta/Kg tilapia} - \text{Costo alimento/Kg tilapia producido}}{\text{Precio de venta/Kg tilapia}} \quad [15]$$

$$\text{Análisis marginal costo } \frac{\text{alimento}}{\text{Kg}} \text{ tilapia} = \frac{\text{Costo alimento } \frac{\text{comercial}}{\text{Kg}} \text{ tilapia producido} - \text{Costo alimento modelo con Lemna minor por Kg tilapia producido}}{\text{Precio de venta/Kg tilapia}} \quad [16]$$

$$\text{Ganancia adicional por ciclo} = \text{Valor del costo marginal/modelo} \times \text{Kg tilapia producidos por ciclo}$$

[17]

Análisis de Escalabilidad del Sistema de Producción de *Lemna minor*.

El análisis de escalabilidad realizado fue dirigido a la producción de lenteja de agua, con el objetivo de conocer la variación en el costo por unidad bajo 4 diferentes escalas productivas bajo un horizonte de tiempo de 30 días. Las proyecciones realizadas fueron las siguientes: 3,500 m², 5,000 m², 10,000 m² y 20,000m². Se utilizó la misma fórmula de biomasa total producida empleada en el costo de la lenteja. La producción total obtenida del área inicial se tomó como referencia comparativa para las demás y el aumento productivo se interpretó en %. Dicha tasa de crecimiento obtenida por área fue sumada al total de horas trabajadas y costos de mano de obra para conocer el aumento de estos en relación con el aumento productivo. Con dichos valores se logró calcular el cambio en costo unitario por Kg de *Lemna minor* producida para cada área escalada mencionadas anteriormente.

Este análisis permitió evaluar la sostenibilidad económica del sistema mediante el crecimiento productivo he identificar su potencial referente a cambios de mercado.

Flujo de Efectivo en Modelos Alimenticios.

El flujo de efectivo elaborado en el siguiente estudio está compuesto por un horizonte de 5 años, con una tasa inflacionaria del 4.6% (Consejo Monetario Centroamericano, 2025), una tasa de descuento del 12%. Se elaboró un flujo para los cuatro modelos alimenticios con el objetivo de identificar el impacto financiero, dentro de las fases productivas. Cada año cuenta con 2 fases productivas realizadas a diferencias de los años 3 y 5 años que cuentan con tres ciclos productivos cada uno. Se destino el capital de trabajo el total de costos variables requeridos. Para cada modelo alimenticio elaborado y comercial se realizó un flujo de efectivo del cual se establecieron indicadores financieros.

Indicadores Financieros.

La implementación de indicadores financieros permitió analizar liquidez, rentabilidad, desempeño y el rendimiento económico de los modelos alimenticios evaluados por ciclos productivos anuales (M. Torres, 2021).

Dichos indicadores financieros: VAN y TIR, revelaron la viabilidad, rentabilidad, eficiencia y riesgos del uso de cada uno de los modelos. Las fórmulas requeridas son las siguientes 16, 17, 18, 19:

$$\text{Cambio Capital Trabajo} = \text{CT Año futuro} - \text{CT Año Presente} \quad [18]$$

Donde:

CT: Capital de Trabajo

$$\text{Flujo de Efectivo} = IA - CVA - CCT \quad [19]$$

Donde:

IA: Ingreso Anual

CVA: Costo Variable Anual

CCT: Cambio del Capital de Trabajo

(Vivas, 2023)

$$VAN = \sum \frac{F_t}{(1+r)^t} - C_0 \quad [20]$$

Donde:

Ft: Flujos de efectivo esperados en el periodo

r: Tasa de descuento

t: Número de años

C0: Inversión inicial

(Vivas, 2023)

$$TIR = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TCO)^t} - C_0 \quad [21]$$

Donde:

Ft: Flujos de efectivo esperados por el periodo

C0: Inversión Inicial

TCO: Tasa Costo de Oportunidad

Análisis de Punto de Equilibrio Financiero.

Se elaboró un punto de equilibrio financiero tomando en cuenta los flujos de efectivo elaborados. Se determinó el precio de venta por unidad producida (Kg) de tilapia, necesario para que el VAN sea igual a cero, lo cual indica el punto exacto en el que el proyecto cubre los costos variables.

Este cálculo se realizó aplicando la herramienta disponible en Excel "Goal Seek". Dicha función permitió ajustar automáticamente el valor del precio de venta, modificándolo hasta encontrar aquel precio que equilibra el VAN en cero. Esta herramienta permitió evaluar que tan financieramente viable es el producto al momento de comercializarse, aportando a la toma de decisiones, asignación de precios y posición de mercado.

Este análisis se ejecutó para los cuatro diferentes planes alimenticios tomando como referencia el plan comercial para evaluar el cambio de los demás planes alimenticios con diferentes inclusiones de lenteja.

Resultados y Discusión

Recolección de *Lemna minor*

A lo largo del ciclo productivo de 27 días, se recolectó un total de 8.6 kg en los tanques de 6 m² utilizados con un promedio de biomasa cruda cosechada por lote de (0.86 kg/m²). Tras ser sometida al proceso de secado, se obtuvo un total de 0.52 kg de biomasa seca, obteniendo un rendimiento en materia seca de 6%. Esto quiere decir por cada Kilogramo de biomasa cruda recolectada, se obtendría un total de 0.06 kg en materia seca después del proceso de secado, siendo un rendimiento bastante bajo con pérdidas de biomasa del 94%.

Estos datos difieren de los obtenidos por Gonzales Salas (2013), cuya producción de lenteja de agua alcanzo un rendimiento de (2.70 a 2.73 kg/m²), mostrándose considerablemente más alto, posiblemente ocasionado por el suministro de fertilizante que se aportó al medio. En dicho estudio también se destacó que, durante los 50 días evaluados, la concentración de pH, temperatura del medio, nitritos y nitratos se mantuvieron en un rango óptimo para el buen crecimiento de la especie.

Cuadro 1

Datos recolectados de la producción de la Lenteja de Agua

Producción	Siembra	Cosecha	Peso Crudo (Kg)	Secado	Peso seco (Kg)
Lote #1	5/2/25	9/2/25	0.53	9/2-13/2	0.03
Lote #2	9/2/25	12/2/25	0.86	12/2-16/2	0.02
Lote #3	12/2/25	17/2/25	0.52	17/2-20/2	0.04
Lote #4	17/2/25	19/2/25	0.54	19/2-25/2	0.03
Lote #5	19/2/25	25/2/25	1.53	25/2-1/3	0.09
Lote #6	25/2/25	27/2/25	0.60	27/2-1/3	0.05
Lote #7	27/2/25	1/3/25	0.57	1/3-5/3	0.05
Lote #8	1/3/25	5/3/25	0.54	5/3-9/3	0.05
Lote #9	5/3/25	9/3/25	1.36	9/3-15/3	0.10
Lote #10	9/3/25	14/3/25	1.55	14/3-17/3	0.09

Análisis Bromatológico *Lemna minor*

En el Cuadro 2 se presentan los resultados del análisis bromatológico de *Lemna minor*. La muestra brinda contenidos proteicos favorables de 14.30%, aporte de fibra bastante alto con 35%, 15% de cenizas, así como un aporte de 24.77% en carbohidratos. Estos valores sugieren que la lenteja de agua constituye una buena fuente de proteína cruda, un importante aporte mineral y una contribución energética considerable sin ningún fertilizante aportado. El alto contenido de fibra por otro lado es una limitante ya que en un alimento para tilapia reduce la digestibilidad del alimento, por lo que se requiere de un adecuado balance dietético para evitar problemas de digestibilidad y por ende una baja tasa de conversión alimenticia (Ying Sun et al., 2019).

Cuadro 2

Análisis bromatológico de Lemna minor

Muestra	PB%	FB%	MS%	Cenizas	Grasa	Carbohidratos
Harina de <i>Lemna</i>	14.30	35	8.43	15	2.5	24.77

Nota. PB% = Porcentaje de Proteína Bruta; FB% = Fibra bruta

En el 2013 en la zona oriental de Cuba, se realizó un experimento en el que el valor nutricional de la lenteja de agua era una de las variables a analizar. En dicho experimento, la producción de lenteja de agua fue fertilizada al inicio de la etapa experimental con excreta de cerdo bien distribuida y el valor nutricional de la lenteja producida obtuvo una diferencia significativa a la producida en el actual experimento con un aporte proteico de 27.6%, 7.22% de fibra cruda y 22.6% en cenizas (Gonzales Salas, 2013). Con este aporte podemos inferir que la fertilización o medio con alto contenido de nutrientes influye significativamente al valor nutricional de la lenteja, elevando su valor proteico y disminuyendo su aporte en fibra.

Planes Alimenticios Elaborados

En el Cuadro 3 se puede apreciar los tres modelos de dietas balanceadas de acorde a la empleada en la finca "La Bendición". Dichos modelos compuestos por fase de pre-engorde, engorde 1 y engorde 2, con distintas proporciones de inclusión de *Lemna minor*, contenidos nutricionales y costos estimados. El alto contenido de fibra obtenida en la muestra de lenteja represento una limitante para

aumentar la porción de lenteja de agua en las dietas formuladas. Según un estudio realizado por Kubitzka (2019), observaron que la tilapia suministrada con un porcentaje de fibra de 11% y 14%, obtuvieron el peor crecimiento y conversión alimenticia a comparación de los peces que recibieron un alimento con 8% de fibra o menos. En base a este estudio se procuró no exceder el contenido de fibra a 9%, el resultado de inclusión máxima fue de 10% pre-engorde, 12% engorde 1 y 13% para engorde 2.

En el modelo #1 se designó una inclusión constante de 5% de *Lemna minor* para las tres fases. El contenido de fibra osciló entre 6.1 y 7.1%, con una relación de Ca/P aceptable (0.70-0.77). El contenido de aminoácidos fue más alto en la etapa de pre-engorde con 5.56% y descendió en las siguientes fases. Con respecto al costo, se obtuvo una disminución para cada fase resultando en un costo por ración de 45 kg, USD 44 para pre-engorde, USD 42 engorde 1 y USD 40.22 engorde 2.

El modelo #2 con una inclusión constante de 10%, se observó un ligero aumento en la fibra fluctuando entre 7.8 a 8.7%, manteniéndose en el límite de este. Su relación de Ca/P bajo a 0.69% en engorde 2, al igual que el perfil de aminoácidos teniendo un efecto decreciente mediante la reducción de aporte proteico. Con respecto a los costos de dicho modelo se obtuvo un valor por 45 kg de USD 44.1 en fase de pre-engorde, USD 41.41 engorde 1 y USD 40 engorde 2.

El modelo #3, con el objetivo de incluir la mayor cantidad de lenteja, obtuvo un efecto escalonado aumentando su inclusión conforme avanzó el ciclo. La fibra se mantuvo constante entre las diferentes dietas con (8.6-8.7%), pero su valor de Ca/P tuvo un aumento considerable en la fase de pre-engorde con un aporte de 1.5%. Su valor de aminoácidos se mantuvo constante en las etapas de engorde sin embargo en pre-engorde su valor es mayor con 5.47 y 4.3 en las siguientes fases. El modelo muestra el costo más alto en la fase de pre-engorde con un valor de USD 44.78 por 45 kg de alimento. En las etapas de engorde 1 y 2 su valor va mejorando, siendo un total de USD 41.10 y USD 39.23.

Cuadro 3*Modelos formulados y balanceados*

Modelo	% <i>Lemna</i>	% P	% Fibra	Kcal/kg	Ca/P	Amino	Costo
1							
Pre-engorde	5	40	7.10	3000	0.77	5.56	USD 43.9
Engorde #1	5	35	6.40	3000	0.73	4.85	USD 42.0
Engorde #2	5	32	6.10	3000	0.7	4.44	USD 40.2
2							
Pre-engorde	10	40	8.7	3000	0.76	5.40	USD 44.0
Engorde #1	10	35	8.0	3000	0.72	4.76	USD 41.4
Engorde #2	10	32	7.8	3000	0.69	4.32	USD 40.0
3							
Pre-engorde	10	40	8.7	3000	1.50	5.47	USD 44.8
Engorde #1	12	35	8.6	3000	0.69	4.30	USD 41.0
Engorde #2	13	32	8.7	3000	0.69	4.30	USD 39.0

Análisis Biológico de la Tilapia Bajo el Consumo de Dietas con Inclusión de Lenteja de Agua

Varios ensayos experimentales han sido evaluados para determinar el efecto de suplementar o reemplazar parte del alimento comercial de tilapia con *Lemna minor*, en forma fresca, seca y en diferentes volúmenes. En Honduras, la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, se llevó a cabo un experimento realizado por Oliva Lemus y Palacios Cruz (2023), donde 500 alevines fueron evaluados bajo una suplementación de alimento comercial y lenteja de agua cruda. Se elaboraron tres tratamientos donde el primero era alimento comercial al 45% de proteína (control), T2 dieta comercial 45% + *Lemna ad libitum* y T3 dieta comercial 45% + porción limitada de *Lemna*. Con dicho experimento se analiza el efecto en la suministración de lenteja de agua en crudo, detalle muy importante de destacar ya que es una manera más práctica y económica de suministrarle el insumo al cultivo de tilapia. Los resultados recopilados mostraron que el suministro en crudo no presenta diferencias significativas con respecto a la biomasa final cosechada, ganancia de peso, peso promedio final ni supervivencia. La única variable que mostró una diferencia significativa fue el índice de conversión alimenticia (ICA), donde la dieta 45% PC + *Lemna minor* con limitación difirió al tratamiento control rondando en 2.88 siendo la media entre los demás tratamientos 3.46. Con dichos resultados, podemos observar que los peces alimentados con un complemento de *Lemna* crecieron igual que aquellos con

dieta 100% comercial, esto demostró que su integración no perjudica el desempeño productivo de la tilapia.

Estudios previos en otros países también respaldan su viabilidad. Investigadores en México y Cuba evaluaron inclusiones en este caso de harina de *Lemna* en dietas de tilapia roja. Mencionando la fuente citada previamente, Gonzales Salas (2013), experimento con el reemplazo de proteínas tradicionales con inclusiones de 6%, 12% y 18% de *Lemna minor* en dietas balanceadas para alevines de tilapia en una estación de alevinaje en la región oriental de Cuba. Utilizando una lenteja producida por ellos mismo en estanques posteriormente fertilizados con excretas de cerdo, obtuvieron resultados muy prometedores en el valor nutricional de *Lemna* alcanzando 28% en proteína cruda. Como lo destacó, este valor puede estar relacionado a la concentración de nutrientes del agua aportada por la excreta porcina, por lo que podría explicar el menor contenido de proteína de *Lemna* producida en este proyecto sin ningún tipo de fertilizante aplicado. Entre las dietas elaboradas, en el Cuadro 5 se aprecian los niveles de peso vivo, ganancia, consumo, conversión alimenticia y supervivencia similares a los obtenidos con el tratamiento sin inclusión de lenteja. La más destacada fue la dieta con inclusión al 12% obteniendo mayor peso final, una mejor eficiencia del alimento y redujo sus costos en comparación al alimento comercial por un 26%. Estos resultados evidencian que concentrados con inclusiones de agua presentan los mismos resultados productivos que con el control, siendo los costos la única diferencia reduciéndolos significativamente y por ende mejorando su rentabilidad productiva.

Cuadro 4

Composición química de la harina de Lemna sp. (Gonzales Salas, 2013)

Muestra	MS%	PB%	Grasa%	FB%	Cenizas%
Harina de <i>Lemna</i>	92.31	27.6	2.08	7.22	22.60

Nota. MS% = Materia Seca; PB% = Proteína Bruta; FB% = Fibra Bruta

Cuadro 5

Comportamiento de los indicadores productivos (Gonzales Salas, 2013)

Detalle	0	6	12	18
Peso inicial (g)	1.36	1.5	1.4	1.45
Peso final (g)	10.22	9.97	10.52	10.13
GMD, (g/día)	0.17	0.16	0.18	0.16
FCA	5.13	5.31	4.98	5.06
Consumo (g MS/día)	0.91	0.9	0.91	0.99
Supervivencia %	97.22	98.12	98.67	97.41
FCE (US/t)	974	837	720	680

Nota. FCA = Factor de Conversión Alimenticia; FCE = Factor de Conversión Económico

Con el apoyo de estas fuentes, se determina la viabilidad en la integración de lenteja de agua en dietas de tilapia. Posee altos valores nutricionales, competentes a los insumos utilizados en la actualidad y se integran de manera armónica a la producción. También se destaca que, si bien es cierto la lenteja en estado crudo no genera una interrupción en el crecimiento o supervivencia de esta, su estado en harina permite obtener rendimientos económicos sustituyendo parte de las fuentes proteicas convencionales.

Análisis Económico

Análisis de Costos de Oportunidad

En el análisis de costos de oportunidad realizado, se estimaron las pérdidas potenciales por no implementar los modelos con lenteja en lugar del alimento comercial actualmente utilizado. Los modelos calculados muestran un costo de oportunidad por kilogramo de USD 0.1122 para el primer modelo, USD 0.1247 para el Modelo 2 y USD 0.1297 para el modelo 3. Se escalaron los costos a tamaño de lote y se tradujo en una pérdida de USD 3,138.2, USD 3,488 y USD 3,628, respectivamente para cada modelo. Con estos resultados se evidencia que la implementación de los diferentes modelos elaborados, representan un ahorro significativo en comparación al uso únicamente de alimento comercial, fortaleciendo esta propuesta como una estrategia de reducción de costos para la producción de tilapia.

Cuadro 6

Costo de oportunidad en la implementación de modelos elaborados con Lemna minor

Modelos formulados	Costo oportunidad (kg)	Costo oportunidad (Lote)
Modelo #1	USD 0.1122	USD 3,138.2
Modelo #2	USD 0.1247	USD 3,488
Modelo #3	USD 0.1297	USD 3,628.12

Análisis Marginal

En el análisis marginal, se evaluó la ganancia bruta por Kg de tilapia producida bajo cuatro modelos alimenticios, cada uno con una mayor sustitución con *Lemna minor* que otra. Junto a un ICA constante (1.4), el costo del alimento ocasiono un efecto directo en el costo del alimento por Kg de tilapia producida, reflejando un descenso pasando de USD 1.92/Kg en el modelo comercial a USD 1.74/Kg en el modelo 3.

Dicha variabilidad, genero un incremento en la ganancia bruta por Kg de tilapia producida, de USD 1.61 en el modelo comercial hasta USD 1.79 en los modelos con *Lemna*. El análisis marginal muestra que: Modelo 1, genera una ganancia adicional de USD 0.16/Kg, Modelo 2 de USD 0.17/Kg y Modelo 3, siendo la más alta con USD 0.18/Kg. Proyectando esta ganancia adicional al volumen de producción por lote, se obtiene una mejora de USD 4,3924 en el Modelo 1, USD 4,881 en el Modelo 2, y USD 5,077 en el Modelo 3 respecto al modelo comercial.

El modelo 3 con la mayor sustitución de maíz a *Lemna minor* posible, ofrece la mayor ganancia marginal, siendo la alternativa más eficiente y rentable frente al modelo comercial. Sin embargo, El análisis marginal muestra que la inclusión de *Lemna minor*, en dietas para engorde de tilapia mejora la rentabilidad por unidad y por lote, reduciendo sus costos por Kg de tilapia ´producida.

Cuadro 7*Análisis Marginal en los diferentes Modelos Evaluados*

	Comercial	Modelo #1	Modelo #2	Modelo #3
Precio USD por Kg alimento	1.38	1.26	1.25	1.25
ICA	1.4	1.4	1.4	1.4
Precio USD por Kg	3.54	3.54	3.54	3.54
Costo del alimento por Kg de tilapia producida	1.93	1.77	1.75	1.74
Ganancia bruta/Kg producido	1.61	1.77	1.75	1.74
Análisis Marginal				
Ganancia bruta adicional por Kg		0.16	0.17	0.18
Ganancia bruta USD adicional por lote		4,393.45	4,883.18	5,079.37

Nota. ICA = Índice de Conversión Alimenticia

Análisis de Escalabilidad del Sistema de Producción de Lemna

En el análisis de escalabilidad económico para la producción de lenteja de agua, se evaluaron cuatro escenarios de crecimiento en superficie cultivada: 3,500 m² (base), 5,000 m² (+43 %), 10,000 m² (+143 %) y 20,000 m² (+243 %). En el escenario base, con 3,500 m² de superficie, se obtuvo una producción mensual estimada de 15,753 kg de materia cruda, lo que equivale a 945.2 kg de materia seca. Esta escala requirió 64 horas de trabajo mensual, con un costo total de mano de obra de USD 156.8, bajo resultando en un costo unitario de USD 0.166 por kg de materia seca.

Al incrementar el área a 5,000 m², la producción mensual aumentó a 1,350.3 kg de materia seca o un poco más de una tonelada/mes, el costo unitario se mantuvo en USD 0.166/kg, a pesar del aumento en horas laborales (91) y en el costo de mano de obra (USD 224). Sin embargo, al escalar a 10,000 m², se logró una producción mensual de 2,701 kg de materia seca, con 155 horas de trabajo y un costo laboral de USD 381. En este caso, el costo unitario descendió a USD 0.141/kg, evidenciando una mejora significativa en eficiencia. Finalmente, en el escenario de mayor escala (20,000 m²), se alcanzó una producción mensual de 5,401 kg de materia seca. A pesar de requerir 219 horas de trabajo y un costo de mano de obra de USD 537.42, el costo unitario se redujo drásticamente a USD 0.100/kg. Con estos datos se puede ver una relación en los costos que incurren, logrando producir hasta 3 toneladas con un solo jornaleros.

Esto demuestra una clara economía de escala, ya que el costo unitario disminuye conforme se incrementa la superficie cultivada, lo que fortalece la viabilidad económica de expandir el sistema productivo de lenteja de agua para su uso como insumo en alimentación acuícola.

Cuadro 8

Análisis de escalabilidad en la producción de harina de Lemna minor

Área m ²	MC/Mes(kg)	MS/Mes (kg)	Horas/mes	Mano de obra (USD)	CU/kg
3,500	15,753	945.2	64	156.8	USD 0.166
5,000 (43%)	22,504	1,350.3	91	224	USD 0.166
10,000 (143%)	45,008	2,701	155	381	USD 0.141
20,000 (243%)	90,017	5,401	219	538	USD 0.100

Nota. MC = Materia Cruda; MS = Materia Seca

Indicadores Financieros

Los indicadores financieros fueron calculados a partir de un flujo de caja con un horizonte de tiempo de cinco años, considerando una tasa de descuento del 12% y una inflación del 4.6%.

Los resultados evidencian que todos los modelos son financieramente viables, pero con diferencias significativas en su rentabilidad. El modelo comercial presentó un VAN de USD 267,611 y una TIR del 105%, mientras que los modelos con inclusión de *Lemna minor* mostraron mejores desempeños en utilidades percibidas y mayores retornos sobre la inversión.

El modelo con inclusión del 5%, alcanzó un VAN de USD 298,201 y una TIR del 120%. Incrementando la sustitución del maíz por *Lemna* al 10%, el VAN se elevó a USD 301,611 con una TIR del 121%. Por último, el modelo con la mayor cantidad de inclusión (10%, 12%, 13%) obtuvo el valor más alto, con un VAN de USD 302,977 y una TIR del 122%. Bajo la obtención de dichos datos, comparando el modelo comercial con el modelo con los mejores valores obtenidos (10%, 12%, 13%), se identifica un aumento en el valor actual neto de USD 35,366, representando mejores ganancias que el modelo comercial. Con respecto a la tasa interna de retorno, se obtuvo una diferencia de 17%, mostrando mayor retorno sobre la inversión inicial volviéndolo un modelo más rentable.

Dichos resultados obtenidos, destacan que los modelos elaborados con diferentes inclusiones de *Lemna minor*, aumentan el valor presente neto en un horizonte de cinco años y presentan un mayor

retorno sobre la inversión en comparación al modelo compuesto por dietas comerciales. Además, presenta un patrón positivo ligado al aumento de la sustitución *con Lemna minor*, sugiriendo que, a mayor inclusión, técnicamente viable, pueden seguir mejorando los márgenes financieros.

Cuadro 9

Indicadores Financieros de Flujo de Efectivo Operativo

Modelos Alimenticios	VAN (USD)	TIR
Comercial	267,610.62	105%
<i>Lemna</i> 5%	298,201.26	120%
<i>Lemna</i> 10%	301,611.23	121%
<i>Lemna</i> 10,12,13%	302,976.78	122%

Nota. VAN = Valor Actual Neto; TIR = Tasa Interna de Retorno

Punto de Equilibrio Financiero

Para el modelo comercial y los modelos elaborados con diferentes inclusiones de *Lemna minor* se elaboró un punto de equilibrio, que permitió medir sus eficiencias en costos. El punto de equilibrio reveló el precio de venta por unidad (Kg) de tilapia, donde los ingresos totales equivalen a los costos variables totales.

El punto de equilibrio se planteó en cada flujo de efectivo elaborado para cada modelo, ejecutado con la herramienta "Goal Seek". En el modelo comercial, se identificó un precio de venta por unidad de USD 2.51 / Kg, cubriendo costos variables totales y mostrando una disminución de USD 1.03 / Kg, frente al precio de venta estipulado por la finca. Sin bien es cierto, el precio de venta con el modelo comercial muestra un margen sobresaliente, los modelos elaborados con inclusión de *lemna minor* revelan una mejor eficiencia de costos variables.

Modelo con 5% en inclusión de *Lemna minor* presentó un precio en venta de USD 2.39 / Kg, tomando en cuenta una producción constante para los cuatro modelos. Los modelos con 10% y (10%, 12%, 13%) presento el mismo precio en venta de USD 2.37 por unidad para cubrir sus costos variables anuales.

Rentabilidad Bruta

El análisis de la rentabilidad bruta permitió establecer con claridad las diferencias en el desempeño económico de los insumos utilizados. La dieta comercial brindó un resultado de 1.48, es decir, por cada dólar invertido en los costos variables de producción se recuperan USD 1.48 (incluyendo capital). En cambio, los modelos con *Lemna* alcanzaron valores de USD 1.56 para el 5 % y USD 1.57 para los modelos de 10 % y 10-12-13 %.

Estos resultados revelan un aumento de USD 0.09 por cada dólar invertido, comparado al alimento comercial. Esta mejora sostenida en toda la operación representa una ventaja acumulativa significativa en el uso de los insumos operativos y acumulada. Además, resalta una ventaja estratégica en términos de rentabilidad y sostenibilidad productiva.

Cuadro 10

Rentabilidad Bruta de los modelos alimenticios

Modelos	Rentabilidad Bruta
Comercial	1.48
<i>Lemna</i> 5%	1.56
<i>Lemna</i> 10%	1.57
<i>Lemna</i> 10, 12, 13%	1.57

Discusiones

Dado a los resultados del estudio se comprobó el cumplimiento de los objetivos planteados. Se identificó que la inclusión de *Lemna minor* como fuente proteica sustitutiva en dietas para tilapia sí es técnica y económicamente viable. De la misma manera, la biomasa producida empíricamente presentó un perfil nutricional aceptable. Con la ayuda de las herramientas económicas y financieras utilizadas, se evidenció una reducción de costos alimenticios significativa, una producción de *lemna minor* sostenible ante las diferentes escalas productivas, aumento en el Valor Actual Neto y mayor rentabilidad ante el retorno sobre la inversión. También se destacó un riesgo menor con respecto al precio de venta por unidad (Kg) necesario para cubrir los costos variables anuales y una mayor rentabilidad bruta.

Tomando en cuenta los resultados obtenidos, al compararlos con otros estudios mencionados anteriormente, se identificaron similitudes y diferencias. El estudio de Oliva y Palacios 2023, respalda la viabilidad técnica de incluir *Lemna minor* en la dieta de la tilapia, demostrando que dicho insumo no compromete los parámetros productivos del engorde. Bajo la misma línea, el estudio de Gonzales 2013 muestra el mismo resultado, sin embargo, dado a que este estudio realizó un análisis bromatológico a la *Lemna minor*, se pudieron identificar diferencias significativas en su perfil nutricional. Los niveles proteicos obtenidos en este estudio fueron más bajos que los reportados por Gonzales, probablemente debido a la ausencia de fertilización en el cultivo. A pesar de ello, los modelos formulados con *Lemna minor* mostraron mejoras económicas, resultado obtenido también por Gonzales Salas.

Estas conclusiones incentivan a nuevas líneas de investigación. Se recomienda realizar un ensayo zootécnico en condiciones reales para validar dichos resultados, así como también explorar el efecto del perfil nutricional de *Lemna minor* bajo distintos medios de cultivo implementando fertilizantes orgánicos o químicos. De igual manera, se recomienda analizar su uso en otras especies acuícolas o sistemas productivos y evaluar su potencial bajo escalas productivas mayores.

Conclusiones

La inclusión de *Lemna minor* en dietas para tilapia resultó técnica y económicamente viable. Mostró parámetros productivos favorables y redujo el costo alimenticio.

Se encontró que la Lemna minor producida empíricamente presentó un perfil nutricional viable como fuente proteica alternativa, aunque su alto contenido de fibra limita su inclusión a niveles moderados.

La evidencia experimental indica que incluir *Lemna minor* entre un 10 % y 15 % en la dieta de la tilapia no compromete su desempeño biológico y puede favorecer su eficiencia productiva.

La inclusión de *Lemna minor* en dietas balanceadas permitió reducir costos, mejorar utilidades y aumentar la rentabilidad de la producción de tilapia. Además, su producción como materia seca resultó económicamente sostenible, reforzando su viabilidad como insumo alternativo.

Recomendaciones

Llevar a cabo un experimento que suministre en vivo dichos modelos alimenticios elaborados a la tilapia y evaluar sus rendimientos productivos y económicos.

Se recomienda realizar un experimento comparativo utilizando distintos medios de cultivo para determinar cuál de ellos permite obtener *Lemna minor* con mayor valor nutricional.

Evaluar el impacto económico que este insumo podría ocasionar al ser utilizado por la mayoría de los productores hondureños, ya sea para modelos a pequeña escala, semi intensivos e intensivos.

Se recomienda elaborar un estudio de factibilidad en la instalación de una planta procesadora de harina de *Lemna minor*, con el fin de evaluar rentabilidad y sostenibilidad de su producción y procesamiento a escala comercial en territorio hondureño.

Referencias

- Alonso, M. (2025). *Escalabilidad empresarial: Cómo crear un plan con éxito*. <https://asana.com/es/resources/scalability>
- Arroyave, M. P. (2004a). La lenteja de agua (*Lemna Minor L.*): Una planta acuática promisoría. *RevistaEIA*(1), 33–38. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=149217763003>
- Arroyave, M. P. (2004b). La lenteja de agua (*Lemna minor L.*): una planta acuática promisoría. *RevistaEIA*, 1(1). http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-12372004000100004&script=sci_arttext
- Association of Official Analytical Chemists. (2001). *AOAC Official Method 2001.11 – Protein (Crude) in Animal Feed, Forage (Plant Tissue), Grain, and Oilseeds: Block Digestion Method Using Copper Catalyst and Steam Distillation into Boric Acid*. <https://img.21food.cn/img/biaozhun/20100108/177/11285182.pdf>
- Chagolla Farías, M. A. (s.f.). *Análisis de equilibrio*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo - FCCA. <https://www.fcca.umich.mx/descargas/apuntes/academia%20de%20finanzas/finanzas%20i%20mauricio%20a.%20chagolla%20farias/9%20analisis%20de%20equilibrio.pdf>
- Comisión de Promoción del Perú para la Exportación y el Turismo (2022). Estado situacional tilapia. *Promperu*. <https://recursos.expertemos.pe/informe-situacional-tilapia-2023.pdf>
- Consejo Monetario Centroamericano. (2025). *Inflación de Honduras*. Banco Central de Honduras. <https://www.secmca.org/inflacion-de-honduras-63/>
- Dara Abasi, I. (2025). *What Is Operating Cash Flow*. Investopedia. https://www.investopedia.com/terms/o/operatingcashflow.asp?utm_source=chatgpt.com
- Ganadero, C. (2017). *Informe: Las fórmulas para calcular la cantidad de materia seca*. <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/informe-las-formulas-para-calculiar-la-cantidad-de-materia-seca>
- Gonzales Salas, R. (2013). Lenteja de agua, una opción en dietas para tilapia roja. *AquaTIC*(38), 85–93. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5148516>
- Hennigs, C. (2020). *Deliverable D1.7: Analytical Report on Ferment and Granulate Composition*. Comisión Europea. <https://ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentIds=080166e5cd8d669b&appId=PPGMS>
- Kubitza, F. (2019). *Advances in tilapia nutrition, part 1 - responsible seafood advocate*. https://www.globalseafood-org.translate.goog/advocate/advances-in-tilapia-nutrition-part-1/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=sge
- Lawson, T. B. (1973). *Methods of Accelerating the Removal of Moisture from Duckweed and their effect on the Crude Protein Content* [Tesis de pregrado]. B.S., Louisiana State University, United States of America. https://repository.lsu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=9292&context=gradschool_disstheses
- Nuñez, R. (s.f.). *Programa Alcon para tilapia, cria y engorde*.
- Oliva Lemus, O. y Palacios Cruz, H. (2023). *Efecto de la suplementación de Lemna minor a la dieta de alevines de tilapia (Oreochromis sp.) en parámetros productivos y calidad de agua - CPA-2023-*

- T068.pdf* [Proyecto especial de graduación, Escuela Agrícola Panamericana, Honduras].
bdigital.zamorano.edu. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/62fa5602-66d3-40eb-97d1-d0afa02f4aed/content>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (2021). *Agricultural 2021 - 2030*.
https://www.oecd.org/en/publications/oecd-fao-agricultural-outlook-2021-2030_19428846-en/full-report.html
- Orus, A. (2024). *Consumo mundial de proteína animal por tipo en 2023*.
<https://es.statista.com/estadisticas/1314427/consumo-mundial-de-proteina-animal-por-tipo/>
- Pedrosa, S. J. (2016, 2 de septiembre). Análisis marginal Qué es, definición y concepto. *Economipedia*.
https://economipedia.com/definiciones/analisis-marginal.html?utm_source=chatgpt.com
- Redacción Hondudiario (2023, 15 de febrero). Sería muy difícil para Honduras sustituir la importación de maíz y de soya, según la Fenagh. *Hondudiario*.
<https://www.hondudiario.com/2023/02/15/seria-muy-dificil-para-honduras-sustituir-la-importacion-de-maiz-y-de-soya-segun-la-fenagh/>
- Secretaría de Agricultura y Ganadería. (2020). *Acuícola y Pesquero: Análisis de coyuntura*.
https://www.upeg.sag.gob.hn/wp-content/uploads/2022/03/AC-ACUI%CC%81COLA-V20.4.pdf?utm_source=chatgpt.com
- Secretaría de Trabajo y Seguridad Social. (2024). *Honduras: Informe sobre la Estructura Salarial: Diagnóstico para la Política Salarial*. <https://www.trabajo.gob.hn/wp-content/uploads/2024/07/Estructura-Salarial-2023-2024.pdf>
- Sierra Cuello, L. F., Ramírez Hernández, L. F. y Rodríguez Miranda, J. P. (2016). Determinación de la tasa relativa de crecimiento de la lezna menor sp en el tratamiento de efluentes de un sistema de tratamiento de aguas residuales municipales. *+D Revista De Investigaciones*, 7(1), 91–97.
<https://www.redalyc.org/pdf/5337/533777105010.pdf>
- Soderberg, D. (2018). *Meat and meat products: preparation of sample procedure*.
https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/QAD%20610E%20Exhibit_AOAC%20Official%20Method.pdf
- Torres, D. (2023). *Qué es el coste de oportunidad y cómo se calcula (con ejemplo)*. HubSpot España.
<https://blog.hubspot.es/sales/que-es-coste-oportunidad>
- Torres, M. (2021). *Indicadores Financieros: Rentabilidad sobre recursos propios | Liquidez de mercado*.
https://www.scribd.com/document/586824093/Indicadores-financieros?utm_source=chatgpt.com
- UC Davis Analytical Laboratory. (2017). *Crude Fiber*.
<https://anlaborders.ucdavis.edu/analysis/FEED/635>
- Valencia R., Rubén A., Ligarreto M. y Gustavo A. (2010). Mejoramiento genético de la soya (*Glycine max* [L.] Merrill) para su cultivo en la altillanura colombiana: una visión conceptual prospectiva. *Agronomía Colombiana*, 38(2), 155–163.
https://www.redalyc.org/pdf/436/43630132008.pdf?utm_source
- Villena Cortez, C., Villena-Cortez, J., Mamani-Choque, W [Wilma] y Mamani-Choque, W [Wilmer] (2017). Los costos de la alimentación en la producción pecuaria. *Journal De Ciencia Y Tecnología*, 4(2), 1–8. https://www.redalyc.org/pdf/436/43630132008.pdf?utm_source

- Vivas, L. (2023). VAN y TIR | Guía informativa acerca las particularidades, funciones, similitudes y diferencias entre el Valor Actual Neto (VAN) VS la Tasa de Retorno Interna (TIR). https://www.mitrade.com/es/articulo/tutoriales-accion/accion-avanzado/van-y-tir?utm_source=chatgpt.com
- Ying Sun, Xing Zhao, Haiyan Liu y Zhencai Yang (2019). Effect of Fiber Content in Practical Diet on Feed Utilization and Antioxidant Capacity of Loach, *Misgurnus anguillicaudatus*. *Journal of Aquaculture Research & Development*, 10(12), 1–7. https://www.walshmedicalmedia.com/open-access/effect-of-fiber-content-in-practical-diet-on-feed-utilization-and-antioxidant-capacity-of-loach-emmisgurnus-anguillicaudatusem-45459.html?utm_source=chatgpt.com
- Zafra Trelles, A. M., Diaz Barboza, M. E., Davila Gil, F. A., Fernandez Chumbe, R. E., Vela Alva, K. A. y Guzman Santiago, H. H. (2019). Conversión y eficiencia alimenticia de *Oreochromis aureus* var. *suprema* (Cichlidae) con diferente alimento balanceado en sistema cerrado. *ArnaldoA*, 26(2), 815–826. <http://www.scielo.org.pe/pdf/arnal/v26n2/a19v26n2.pdf>

Anexos

Anexo A

Recolección de Lemna minor



Nota. Estanque experimental en el que la semilla de *Lemna minor* fue recolectada

Nota. Siembra de *Lemna minor*.





Nota. Cosecha de Lemna minor.



Nota. Pesado de Biomasa Cruda.



Nota. Finalización del proceso de secado.

Anexo B*Análisis Bromatológico de Lemna minor*

Nota. Muestra de *Lemna minor* recolectada en estado de harina.



Nota. Muestra en DeseCADor.



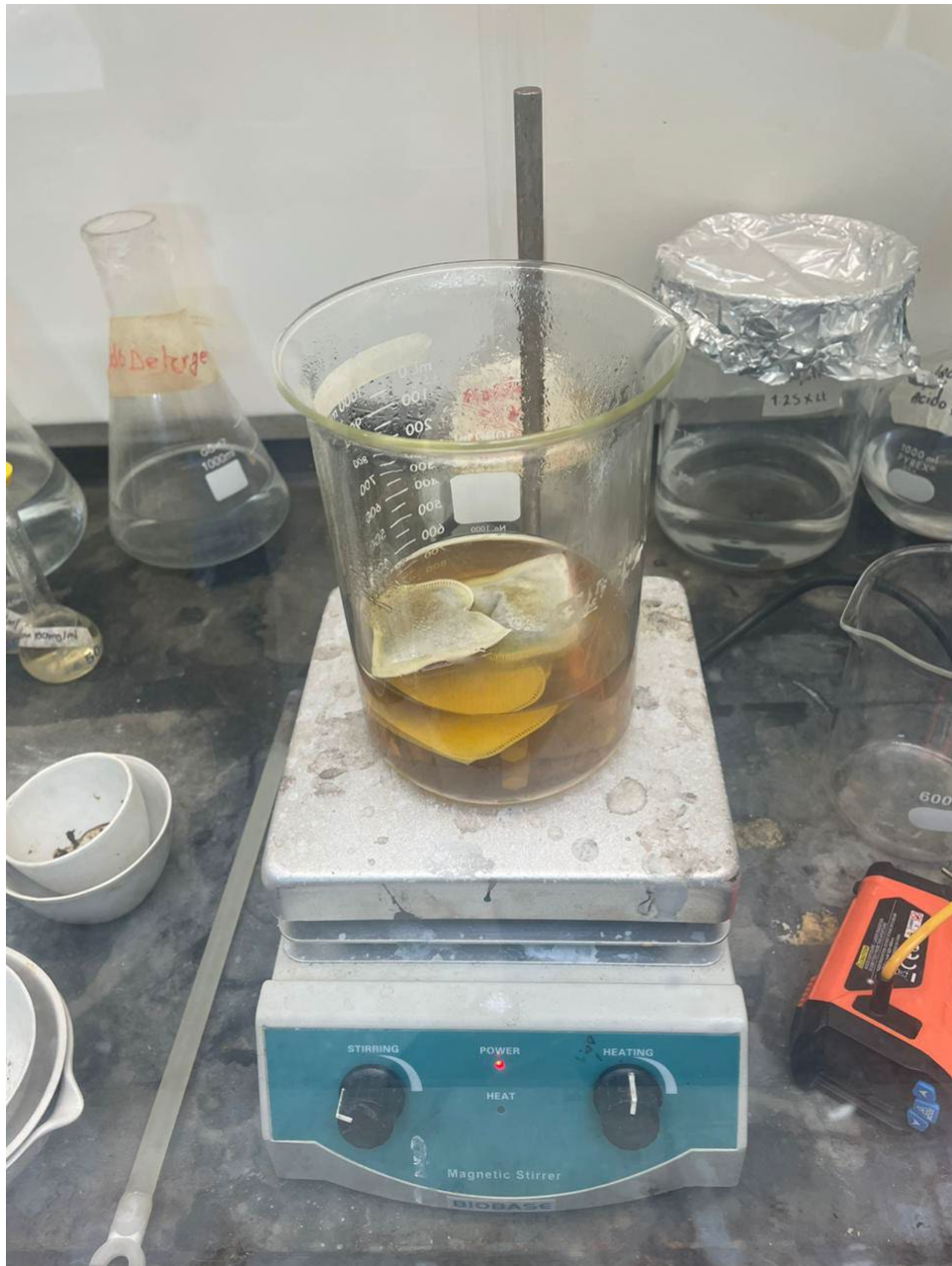
Nota. Análisis de Grasa.



Nota. Análisis de Grasa.



Nota. Análisis de Proteína.



Nota. Análisis de Fibra.

Anexo C

Precios de Alimento Balanceado para Tilapia en Honduras

Producto	Presentación	Precio 1	Precio 2	Precio 3
TILAPIA 28% FINALIZACIÓN	100 LIBRAS	1,015.00	1,005.00	995
TILAPIA 32% CRECIMIENTO E2	100 LIBRAS	1,085.00	1,075.00	1,065.00
TILAPIA 35% INDUSTRIAL E2	100 LIBRAS	1,200.00	1,190.00	1,180.00
TILAPIA 38% LEVANTE E0	50 LIBRAS	670	660	650
TILAPIA 40% PREMEZCLA 02	100 LIBRAS	1,445.00	1,435.00	1,425.00
TILAPIA 40% LEVANTE B	50 LIBRAS	745	735	725
TILAPIA 45% L3	50 LIBRAS	910	900	890
AQUAXCEL 0.3MM AZUL	55 LIBRAS	2,498.00	2,498.00	2,498.00
AQUAXCEL 0.8MM AMARILLO	55 LIBRAS	1,795.00	1,795.00	1,795.00
AQUAXCEL 1.5MM ANARANJADO	55 LIBRAS	1,625.00	1,615.00	1,605.00
AQUAXCEL 2.2MM ROJO	55 LIBRAS	1,505.00	1,495.00	1,485.00

Nota. Precios Solicitados, "Comercial la Roca".