

Aplicación de la metodología de huella ecológica como indicador de sostenibilidad en el uso de ensilaje de pescado en dietas para alimentación de aves

Yhoan S. Gaviria¹, Omar A. Figueroa² y José E. Zapata^{1*}

(1) Grupo de investigación en nutrición y tecnología de alimentos, NUTEC, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia (Correo-e: yhoan.gaviria@udea.edu.co; edgar.zapata@udea.edu.co)

(2) Facultad de Ingeniería, Universidad de la guajira, Riohacha, Colombia (Correo-e: omfimo22@gmail.com)

* Autor a quien debe ser dirigida la correspondencia.

Recibido May. 15, 2021; Aceptado Jul. 19, 2021; Versión final Jul. 30, 2021, Publicado Oct. 2021

Resumen

Los principales objetivos del presente estudio son determinar el impacto ambiental del aprovechamiento de vísceras de tilapia roja (*Oreochromis* spp.) para la obtención de ensilado químico y evaluar su implementación en dietas para especies avícolas mediante la metodología de huella ecológica como indicador de sostenibilidad. La producción piscícola en el mundo ha aumentado con el pasar de los años debido al aumento de la población y al interés de consumidores por este tipo de alimentos. Los resultados muestran que el aprovechamiento de las vísceras reduce el efecto adverso de su vertimiento al ambiente en 16 %. Por otra parte, el uso de recursos naturales para el cultivo de materias primas para la elaboración de alimento y la disposición de aguas residuales son las principales fuentes de emisiones ambientales con 39 % y 60 %, respectivamente. Se concluye que aprovechar los subproductos de ambas industrias e implementar energías alternativas renovables y eficientes, reducen significativamente la carga ambiental del proceso.

Palabras clave: huella ecológica; aves de corral; residuos orgánicos; energía renovable

Application of the ecological footprint methodology as an indicator of sustainability in the use of fish silage in diets for poultry feeding

Abstract

The main objectives of the present study are to determine the environmental impact of using red tilapia (*Oreochromis* spp.) viscera to produce chemical silage and to assess its implementation in poultry diets by using the ecological footprint methodology as a sustainability indicator. Global fish production has increased over the years due to population growth and consumer interest in this type of food. The results show that using viscera to produce chemical silage reduces the adverse effect of its discharge to the environment by 16%. In contrast, the use of natural resources for producing food processing raw materials and wastewater disposal are the main sources of environmental emissions by 39% and 60%, respectively. It is concluded that taking advantage of viscera by-products and implementing renewable and efficient energy sources in both industries significantly reduces environmental burden.

Keywords: ecological footprint; poultry; organic waste; renewable energy

INTRODUCCIÓN

La demanda actual de agua, alimentos, infraestructura y energía, que se tiene a nivel global, ejerce presión ecológica sobre los recursos naturales del planeta y conduce en muchos casos a la generación de residuos y la emisión de gases de efecto invernadero (Ahmed y Wang, 2019). Dicha demanda tiene tendencia creciente, con lo que la capacidad para contrarrestar los impactos provocados por la generación de residuos pierde cada vez más terreno y se ve limitada la biocapacidad del planeta (Sharif et al., 2020). Esto ha hecho necesario la implementación cada vez más, de políticas energéticas y ambientales orientadas a la preservación de los recursos naturales (Sharif et al., 2020; Ibdhi et al., 2017), lo que ha llevado al surgimiento de metodologías para evaluar el impacto sobre el ambiente que pueda generar un proceso dado (Syrovátka, 2020).

La metodología de huella ecológica es uno de los indicadores de sostenibilidad más utilizados para la evaluación del impacto ambiental en procesos de optimización, permitiendo analizar cada etapa (Gwehenberger y Narodslawsky, 2007). En ella se cuantifica el efecto de las actividades antropogénicas sobre el medio ambiente en función de tierra, agua, productos forestales, infraestructura y huella de carbón (Ahmed y Wang, 2019). Establece la cantidad de hectáreas globales de tierra y agua necesarias para mitigar el efecto de los residuos generados o el consumo de los recursos naturales, en un proceso dado (Ahmed y Wang, 2019). Esta metodología genera respuestas comparables, confiables e integrales (Ahmed y Wang, 2019; Jóhannesson et al., 2018).

Una de las actividades productivas que han presentado crecimiento sostenido durante las últimas décadas, lo representa la piscicultura, la cual llegó en 2016 a 171 millones ton en el mundo, mientras que en Colombia se estima que presentó un crecimiento del 9% en el 2018, siendo la tilapia roja (*Oreochromis sp*) el 62% de la producción (Fao, 2016). En dicha industria se descarta alrededor del 65% en forma de residuos, los cuales en la mayoría de los casos son vertidos inadecuadamente, implicando un fuerte deterioro ambiental (Martínez-Alvarez et al., 2015). Teniendo en cuenta que muchos de estos residuos son ricos en proteína, como es el caso de las vísceras (Suarez et al., 2018), surge la alternativa de utilizarlos como fuente de proteína para la obtención de insumos orientados a la industria de alimentación animal. En este sentido, el ensilaje de vísceras de pescado se ha implementado con éxito aportándole valor agregado a este residuo, extendiendo el periodo de conservación y mejorando su composición nutricional (Suarez et al., 2018).

Por su parte, la avicultura es reconocida como una cadena eficiente para producir proteína animal de alta calidad y bajo costo. La carne de pollo y el huevo de gallina han alcanzado el estatus de alimentos completos, sanos y accesibles para millones de personas en todo el mundo (Gomez et al., 2014). Sin embargo, el 95% del costo de la alimentación de pollos y gallinas, es destinado a satisfacer las necesidades de proteína y energía, siendo la harina de pescado y la torta de soya las principales fuentes de proteína animal y vegetal, respectivamente (Fao, 2016). Sin embargo, estas materias primas no siempre están disponibles en las cantidades requeridas en todos los países, como es el caso de Colombia, país que se ve obligado a importar de grandes productores como Estados Unidos y Brasil (Fao, 2016). Por este motivo, es necesario buscar alternativas de alimentación que permitan disminuir costos, para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de estos sistemas productivos (Gomez et al., 2014).

Adicionalmente, la Organización de Naciones Unidas (ONU) el año 2015, estipulo los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), el estudio se encuentra asociado al cumplimiento de los objetivos 12 “producción y consumo responsable”, 13 “Acción por el clima” y 15 “vida de ecosistemas terrestres”. Teniendo en cuenta que a la fecha no existen reportes de literatura que evalúen el impacto ambiental de la utilización de ensilado de pescado en la alimentación animal, el objetivo del presente estudio fue determinar del impacto ambiental del aprovechamiento de vísceras de tilapia roja (*Oreochromis Spp.*) para la obtención de ensilado químico y su implementación en dietas para especies avícolas, mediante la metodología de huella ecológica como indicador de sostenibilidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología presenta varias subsecciones, inicialmente se describe del área de estudio, seguido por las suposiciones y limitaciones del estudio, por último, se establece el cálculo del impacto ambiental.

Área de estudio

El sistema productivo consistió en una granja piscícola productora de tilapia roja (*Oreochromis Ssp.*) ubicada en el municipio de San Jerónimo, Antioquia-Colombia (6°26'30"N 75°43'40"O), con el fin de plantear estrategias de aprovechamiento de residuos como las vísceras, para la obtención de ensilado químico y su uso en la alimentación de especies avícolas. Las figuras 1 y 2 representan los múltiples procesos llevados a cabo en el sistema productivo y el proceso tradicional respectivamente, indicando las salidas de productos y residuos en cada uno de ellos.

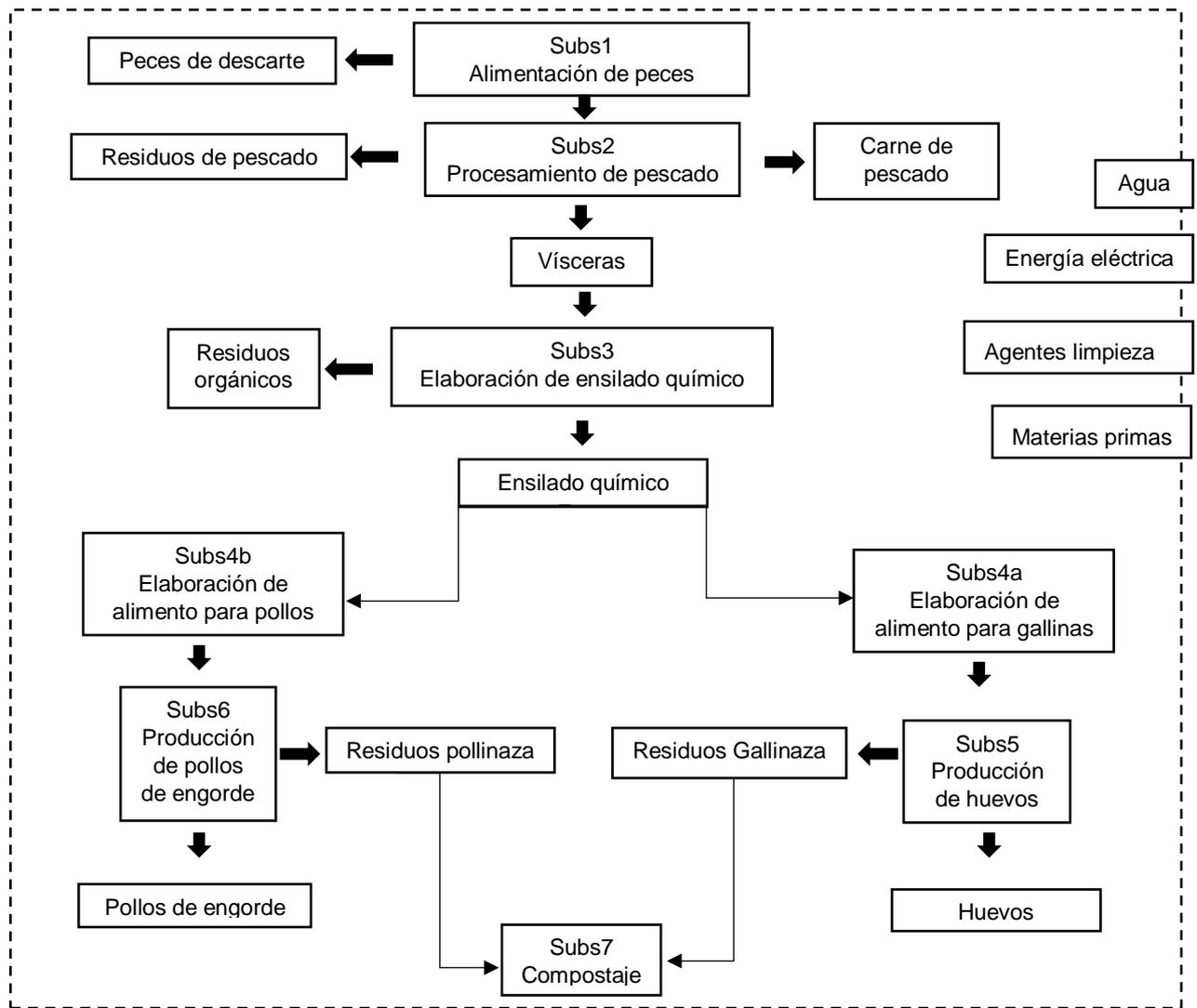


Fig. 1. Límite del sistema productivo con ensilado químico.

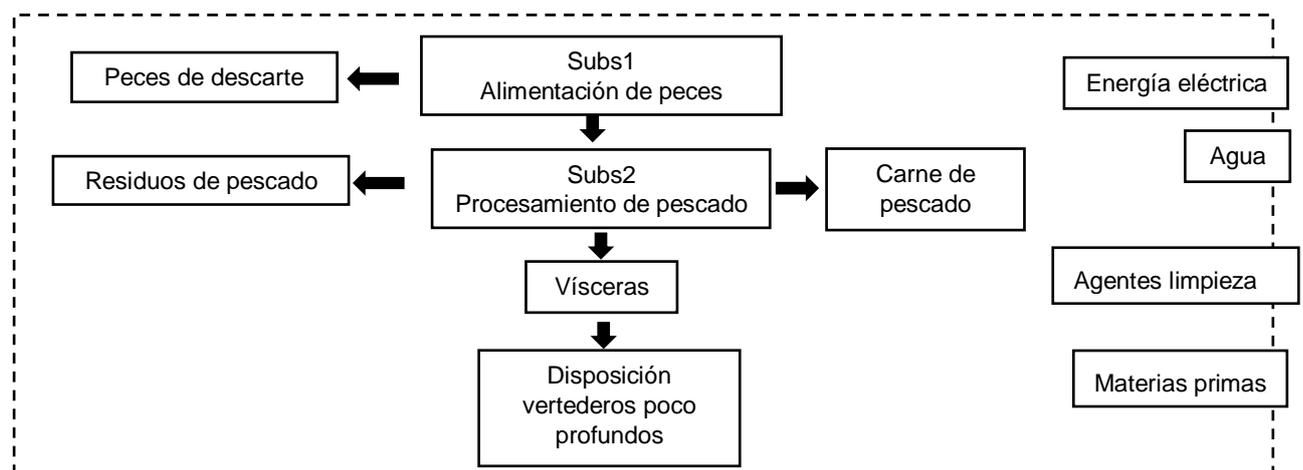


Fig. 2. Límite del proceso tradicional.

Subsistema 1 (Subs1): Hace referencia a la etapa de crianza y engorde de la tilapia roja (*Oreochromis Ssp.*), en el que se alimentaron 2044 alevinos durante un periodo de 7 meses hasta obtener un peso promedio de 400g. Los peces fueron alimentados con 3 dietas de concentrado comercial de acuerdo con etapa de crecimiento.

Subsistema 2 (Subs2): Consiste en el procesamiento de los peces. En esta etapa se procesaron 1778 peces correspondientes a una tasa de mortalidad del 13%, donde los residuos de vísceras representaron el 16% del peso total obtenido. En el proceso tradicional estos residuos finalizan su ciclo siendo depositados en vertederos poco profundos.

Subsistema 3 (Subs3): Corresponde al proceso de elaboración de ensilado químico (EQ) a partir de las vísceras, realizando etapas de desengrasado, triturado, ensilaje y almacenado según lo reportado por Suarez et al., (2018). El 69% del ensilado químico obtenido se destinó para la alimentación de gallinas ponedoras y 29% para alimentación de pollos de engorde.

Subsistema 4a y 4b (Subs4a y Subs4b): Consiste en el proceso de elaboración de dietas tanto para gallinas ponedoras como para pollos de engorde. Este consta de tres etapas mezclado, pelletizado y secado. En la tabla 1 se observan las formulaciones definidas para la alimentación de ambas aves de acuerdo con los requerimientos nutricionales establecidos en las tablas brasileñas de nutrición. Adicionalmente se utilizó una premezcla de vitaminas y minerales la cual contenía la siguiente composición por 250 g de producto: vit. A - 1,400,000 IU; vit. B1 - 500 mg; vit. B12 - 300 mg; vit. B2 = 500 mg; vit. B6 – 1,6 g; vit. D3 - 2,500,000 IU; vit. E - 6,000 IU; vit. K3 = 1,000 mg; biotina - 30 mg; niacina -12 g; ácido fólico - 1 g; cobalto - 50 mg; cobre - 3,000 mg; hierro - 25 g; yodo - 500 mg; manganeso - 32.5 g; selenio - 100.50 mg; zinc - 22.49 g.

Tabla 1. Formulación de las dietas para aves (%)

Materia prima	Gallinas ponedoras	Pollos de engorde
Torta de soya	8.10	9.35
Harina de pescado	6.85	5.19
Ensilado	21.91	21.76
Harina de maíz	35.34	41.55
Harina de arroz	13.06	17.66
Aceite de pescado	1.00	0.85
Carbonato de calcio	8.09	1.04
Fosfato de calcio	4.04	1.04
Premezcla vitaminas	0.40	0.52
Metionina	0.30	0.26
Lisina	0.30	0.26
Triptófano	0.30	0.26
Treonina	0.30	0.26

Subsistema 5 (Subs5): Hace referencia al proceso de obtención de huevos de gallina, para lo cual se alimentaron 36 gallinas ponedoras (*Gallus gallus domesticus*) de la raza Isa-Brown de 16 semanas de edad durante un periodo de 7 meses, sin embargo, para el análisis de resultados se tomó una base de cálculo en el tiempo, de un mes. Las gallinas fueron alimentadas 2 veces al día (mañana y tarde) con una ración de 107g por ave, teniendo un suministro constante de agua.

Subsistema 6 (Subs6): Se refiere al proceso de obtención de pollos de engorde, para lo cual se alimentaron 30 pollos (*Gallus gallus domesticus*) de la raza Ross308 durante un periodo de 42 días hasta obtener un peso promedio de 1,684kg. Los pollos fueron alimentados 2 veces al día aumentando la ración diaria en función de la etapa de crecimiento, teniendo un suministro constante de agua.

Subsistema 7 (Subs7): Corresponde al proceso de compostaje de los residuos de excretas obtenidos en las etapas de alimentación de las aves.

Suposiciones y limitaciones

Para el presente estudio se tuvieron en cuenta algunos supuestos tales como: 1) El proceso de elaboración de EQ es llevado a cabo en la misma granja donde se crían los peces, para eliminar los efectos del transporte de las vísceras. 2) El impacto de las edificaciones no se tuvieron en cuenta en los cálculos debido a su que su tiempo de vida útil es extenso. 3) El impacto ambiental de los equipos industriales no se han incluido dentro del análisis ambiental, sin embargo, se ha demostrado que estos no afectan significativamente los resultados en la evaluación del impacto ambiental porque poseen altos periodos de vida útil (Perez-Martinez et al., 2018). 4) En el Subs4a y 4b se considera que los únicos compuestos liberados al ambiente debido al proceso de secado son moléculas de vapor de agua, ya que en esta etapa el sistema no alcanza temperaturas para la evaporación de otros compuestos.

Cálculo del impacto ambiental

Para el análisis del impacto ambiental del sistema productivo observado en la figura 1 se empleó el estudio de la huella ecológica. Esta metodología se llevó a cabo según lo establecido por Mathis Wackernagel y William Rees, (1996); Gwehenberger y Narodoslawsky, (2007); Krotscheck y Narodoslawsky, (1996), en los que se hace uso de modelos de cálculo que permiten estimar el impacto ecológico de cada etapa del sistema. Esto genera una mayor precisión en los resultados debido a que se requiere una alta recopilación de

información y a su vez reduce las limitaciones que existen por el uso de bases de datos internacionales (Mamouni Limnios et al., 2009). Para el cálculo de huella ecológica del sistema se consideró como unidad fundamental la crianza de 2044 peces de la especie tilapia roja (*Oreochromis Spp.*). Los valores de los impactos ambientales de las entradas y salidas de cada etapa del sistema productivo fueron normalizados a una misma unidad (Ha/ton) la cual indica el número de hectáreas de bosque necesarias en una región específica para fijar el CO₂ producido durante cada etapa del sistema.

La ecuación 1 fue empleada para el cálculo del impacto ambiental (IA) ocasionado por los compuestos orgánicos (co) usados o generados dentro de cada etapa del sistema productivo. Este se realizó de acuerdo con lo establecido en las directrices del *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), donde CRO corresponde a la cantidad del residuo orgánico, FCM corresponde al factor de corrección para el gas metano (CH₄), el cual depende del proceso asociado a la gestión de residuos sólidos en un sector en particular (IPCC, 2006), COD representa la fracción de carbono orgánico degradable del residuo que puede ser objeto de descomposición bioquímica (IPCC, 2006), COD_F es la fracción de COD no asimilada o que se degrada muy lentamente (IPCC, 2006), F y R corresponden a la fracción de CH₄ en el gas de vertedero y la fracción de CH₄ recuperada respectivamente. El factor de oxidación del CH₄ se representa como OX, el potencial de calentamiento global del metano PCG se usó para un periodo de 100 años (IPCC, 2006) y el FF corresponde al factor de fijación de CO₂ para la región establecida dentro del análisis ambiental (IDEAM, 2016).

$$IA = \sum_{CO=1}^n CRO \left(\frac{16 * (FCM * COD * COD_F * (F-R) * (1-OX) * PCG)}{12 * FF} \right) \quad (1)$$

El impacto ambiental proveniente de la entrada de energía eléctrica en las diferentes etapas se calculó mediante la ecuación 2, donde EE_G corresponde al gasto de energía eléctrica “e” en cada etapa del proceso y EEE es el factor de emisiones de CO₂ causadas por un kw-h de energía (IDEAM, 2016).

$$IA = \sum_{e=1}^n EE_G * \frac{EEE}{FF} \quad (2)$$

En el subsistema 3 en la etapa de elaboración de ensilado químico se realiza un proceso de desengrasado mediante calentamiento con gas propano. Para determinar su impacto se realiza el cálculo usando la ecuación 3, en donde VR_{C₃H₈} es el volumen requerido de gas para el proceso, EB_p es la energía embebida en el proceso de obtención de gas propano, la distancia recorrida en el transporte, el rendimiento de combustible y la carga del gas propano se denota D_R, R_c y C respectivamente, por último las emisiones de CO₂ provenientes del combustible se denominaron EC. Sumado a esto en dicho subsistema se tiene generación de CO₂ a causa del proceso de combustión del gas propano para lo cual se calculó su impacto mediante la ecuación 4, en donde FC_{C₃H₈} corresponde al factor de conversión para el gas propano y FE_{C₃H₈} es el factor de emisión de CO₂ (IPCC, 2006).

$$IA = VR_{C_3H_8} \left(\frac{EB_p * EEE + \left(\frac{D_R}{R_c * C} \right) * EC}{FF} \right) \quad (3)$$

$$IA = \frac{VR_{C_3H_8} * FC_{C_3H_8} * FE_{C_3H_8}}{FF} \quad (4)$$

En los diferentes subsistemas es necesaria la inclusión de un flujo de entrada correspondiente al agua de limpieza tanto de equipos como de espacios destinados para los procesos. Para esto se calculó el impacto ocasionado por el suministro de agua mediante la ecuación 5, en la cual A_L corresponde a los litros de agua requerida en el proceso (a) y EB_A es la energía embebida para el suministro de agua. Sin embargo, el uso de esta trae consigo un impacto ambiental asociado a su disposición final, el cual es calculado mediante la ecuación 6, donde AR_L corresponde a volumen de agua residual obtenida en el proceso de limpieza, CO_{DBO5} es la demanda bioquímica de oxígeno de la fracción degradable del agua residual, y CMP_{CH₄} indica la capacidad máxima de producción de metano que posee dicha fracción (IPCC, 2006).

$$IA = \sum_{a=1}^n A_L \left(\frac{EB_A * EEE}{FF} \right) \quad (5)$$

$$IA = \sum_{a=1}^n AR_L * \left(\frac{CO_{DBO5} * CMP_{CH4} * FCM_{CH4} * PCG}{FF} \right) \quad (6)$$

Para los impactos ambientales asociados a los ingredientes de producción y demás flujos de entradas en los diferentes subsistemas se utiliza la ecuación 7, en donde CR_i es la cantidad requerida del producto i , EB_{Pi} corresponde a la energía embebida para la fabricación de este y C_i la carga máxima en el transporte del producto (IPCC, 2006).

$$IA = CR_i \left(\frac{EB_{Pi} * EEE + \left(\frac{D_R}{R_C * C_i} \right) * EC}{FF} \right) \quad (7)$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 2 se presentan la ganancia de peso de los pollos y el porcentaje de postura de las gallinas. Se observa que el peso de los pollos mostró una tendencia creciente durante todo el tiempo del estudio, mientras que sus valores están en el rango típico para esta línea de aves (Ross 308) (Rosero et al., 2012). Es así como Boitai et al., (2018), obtuvieron pesos de 1701 gr y 1660 gr respectivamente, en pollos de engorde alimentados a partir de dietas con sustitución parcial (5% y 10%) de la fuente de proteína por ensilado químico de vísceras y branquias de peces de agua dulce, concluyendo que la sustitución no presentó efectos adversos sobre esta variable productiva. Del mismo modo, Al-Marzooqi et al., (2010), demostraron que reemplazar harina de soya con proteína de ensilado de pescado, mejoró el rendimiento de crecimiento de los pollos de engorde. Sin embargo, se debe destacar que en el presente trabajo la sustitución de la fuente de proteína utilizada fue del 21,76% (tabla 1), con lo que se incrementa la recuperación del residuo, sin afectar el desempeño productivo de las aves.

En cuanto al porcentaje de postura (tabla 2), se puede observar que mantiene valores estables en torno al 85%, lo que indica que el uso de ensilado desengrasado en la alimentación de las gallinas ponedoras en el presente estudio no tuvo efectos adversos sobre el porcentaje de postura, señalando que las características nutricionales de las dietas estuvieron ajustados a los requerimientos de las aves. Resultados similares fueron encontrados por Kjos et al., (2001), sin embargo, en dicho estudio se usó 5 % de ensilado.

Tabla 2. Parámetros productivos de las aves

Semanas	Ganancia de Peso pollos de engorde (g)	Porcentaje de Postura gallinas
0-1	42.10 ± 3.42	82.14 ± 4.30
1-2	114.14 ± 10.94	85.71 ± 5.81
2-3	262.96 ± 27.68	82.14 ± 4.53
3-4	500.43 ± 49.63	85.71 ± 2.76
4-5	780.52 ± 69.85	85.71 ± 4.69
5-6	1278.56 ± 91.27	100.00 ± 3.26
6-7	1684.10 ± 58.72	89.29 ± 3.18

Impacto ambiental del uso de ensilado

Los buenos resultados obtenidos con el uso de ensilado, justifica que se haga el análisis del impacto ambiental de su utilización. Para tal efecto, la cuantificación del impacto ambiental y la cantidad del producto o residuo obtenido en cada uno de los subsistemas del proceso (Fig. 1), se presenta en la tabla 3. Con respecto al subsistema 1 (Crianza de peces), la mortalidad de los peces generó una reducción del 13% de la población inicial (2044 peces), lo cual está en el rango típico de un ciclo productivo de esta naturaleza (10-20%). Dicho subsistema presenta el mayor impacto ambiental de todo el sistema productivo (0,574878 ha/cycle), debido a la gran cantidad de alimento consumido por los peces en su crianza (7 meses), que en el caso de la tilapia roja tiene requerimientos de flotabilidad y el cultivo de algunas materias primas para cumplir con este requerimiento, están asociados con emisiones de gases de efecto invernadero (Henriksson et al., 2015).

En la etapa del procesamiento del pescado (Subs 2), se retiran las escamas (5%) y las vísceras (16%), entregando un rendimiento promedio en peso del 79%. Esta etapa presenta un impacto ambiental considerablemente mayor, respecto a las etapas posteriores, debido a los altos volúmenes de agua requeridos durante el eviscerado, además de la elevada carga orgánica presente en las vísceras, las cuales en la mayoría de los casos se vierten al ambiente (Quiroz Fernández et al., 2018).

En el proceso de obtención de ensilado químico correspondiente al subs 3, se obtiene un rendimiento de 71% luego del desengrasado, equivalente a 80,73 kg de EQ, el cual es usado posteriormente en la elaboración de las dietas para pollos de engorde y gallinas ponedoras. Con respecto al impacto ambiental en esta etapa se observa un valor de -0,1440 ha/ciclo, el cual presenta signo negativo debido a que este corresponde al aprovechamiento de un subproducto (vísceras) que de no ser usado generaría un impacto ambiental equivalente a esta magnitud. Se debe tener en cuenta que en el presente estudio se tomó como base de cálculo una granja de tamaño moderado, por lo que se debe considerar el potencial que tiene este modelo si se lleva a granjas de mayor tamaño. Comportamientos similares fueron reportados por Malakahmad et al., (2017), quienes determinaron el impacto ambiental de diferentes procesos de disposición de residuos orgánicos, encontrando que las emisiones de CO₂ que fueron evitadas para el proceso de digestión anaerobia son considerablemente mayores a las emisiones de CO₂ totales del proceso por lo tanto esto da como resultado un valor negativo, lo que significa que se está favoreciendo el medio ambiente con dicho proceso. Es así como la revaloración de los residuos de la industria piscícola comparando con el proceso tradicional de disposición de residuos indica que el proceso de obtención de ensilado químico permite mitigar aproximadamente el 30% de las emisiones de CO₂, con respecto a las generadas en el ambiente cuando se descargan las vísceras frescas en vertederos poco profundos, generando un crédito de huella ecológica por revaloración de residuos agroindustriales.

Los subsistemas 4a y 4b correspondientes al proceso de elaboración del concentrado para alimentación de las gallinas y los pollos respectivamente, presentan impactos ambientales relativamente bajos en comparación con las demás etapas del proceso y sus principales categorías de impacto se centran en la obtención de las materias primas y la energía eléctrica usada en el proceso de pelletización. El proceso de secado del producto se realizó mediante el uso de colectores solares, como fue reportado por Camaño et al., (2020), para disminuir la carga ambiental proveniente del alimento, con lo cual este trabajo se enmarca en la tendencia del uso de energías renovables en los procesos de secado de alimentos balanceados, ya que la evaluación del desempeño ambiental de diferentes granjas y plantas de procesamiento de carne de pollo, han mostrado que uno de los principales perfiles ambientales de las granjas avícolas es la producción de piensos, por su alto consumo energético y el uso de granos como la semilla de soja, que requieren la aplicación de fertilizantes minerales (Skunca et al., 2018). El alto impacto de la torta de soja en los piensos se debe en gran parte a los gases de efecto invernadero liberados como resultado de los cambios en el uso de la tierra (Leinonen et al., 2012a). Adicionalmente, el aprovechamiento de los residuos de la industria piscícola como sustituto parcial de materias primas proteicas, genera una reducción de la demanda de este tipo de materias primas, las cuales a su vez poseen impactos ambientales de importancia en su proceso de producción, como es el caso de la soja (Leinonen et al., 2012b).

Tabla 3. Impacto ambiental de los subsistemas

Subsistema	Cantidad	IA (Ha/ciclo)
Subs 1 (U)	1778,28	0,5748
Subs 2 (Kg)	561,94	0,4684
Subs 3 (Kg)	80,73	-0,1440
Subs 4a (Kg)	115,05	0,0755
Subs 4b (Kg)	105,47	0,0543
Subs 5 (U)	972,00	0,1633
Subs 6 (Kg)	50,52	0,1465
Subs 7 (Kg)	211,20	-0,1138
Total		1,2251

El factor de conversión alimenticio (FCI), es una variable de importancia ambiental en los procesos de producción de huevo o carne, puesto que las especies avícolas emiten gases de efecto invernadero como el metano, durante la digestión y esta variable relaciona la cantidad de gases producidos por unidad de alimento consumido, para una unidad carne o huevo producida (Ibidhi et al., 2017). Para los subsistemas 5 y 6 los valores del impacto ambiental en la alimentación de las aves se ven influenciados fundamentalmente por el consumo del alimento, pues este afecta la cantidad de estiércol generado y la composición de este, influyendo en las emisiones del sistema productivo avícola (crecimiento y obtención de productos). Comportamientos similares fueron reportadas por Leinonen et al., (2012), quienes concluyeron que los cambios en el consumo y la composición del alimento tienen efectos tanto en los impactos ambientales que ocurren durante la

producción del cultivo y el procesamiento del alimento, como en las emisiones subsecuentes del estiércol de aves de corral durante el alojamiento, almacenamiento y aplicación en el campo.

Las excretas de aves de corral son la fuente de emisiones gaseosas directas de amoníaco (NH₃), óxido nitroso (N₂O) y en menor medida el metano (CH₄), que se produce durante el periodo productivo, el almacenamiento y esparcimiento en la tierra (Leinonen et al., 2012b). En algunas de las etapas, como en el subsistema 7, el estiércol tuvo un valor negativo; es decir, fue un crédito en lugar de una carga ambiental. Esto se debió al uso de las excretas como fertilizante, que compensó la producción de fertilizantes sintéticos o cultivos rotativos fijadores de nitrógeno.

Las principales categorías de impactos a la entrada y la salida de los subsistemas del sistema productivo se pueden observar en la figura 3, donde se destacan las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero. El uso de energía eléctrica se caracteriza por ser uno de los indicadores de mayor impacto en cuanto a la cuantificación ambiental (Tian et al., 2012).

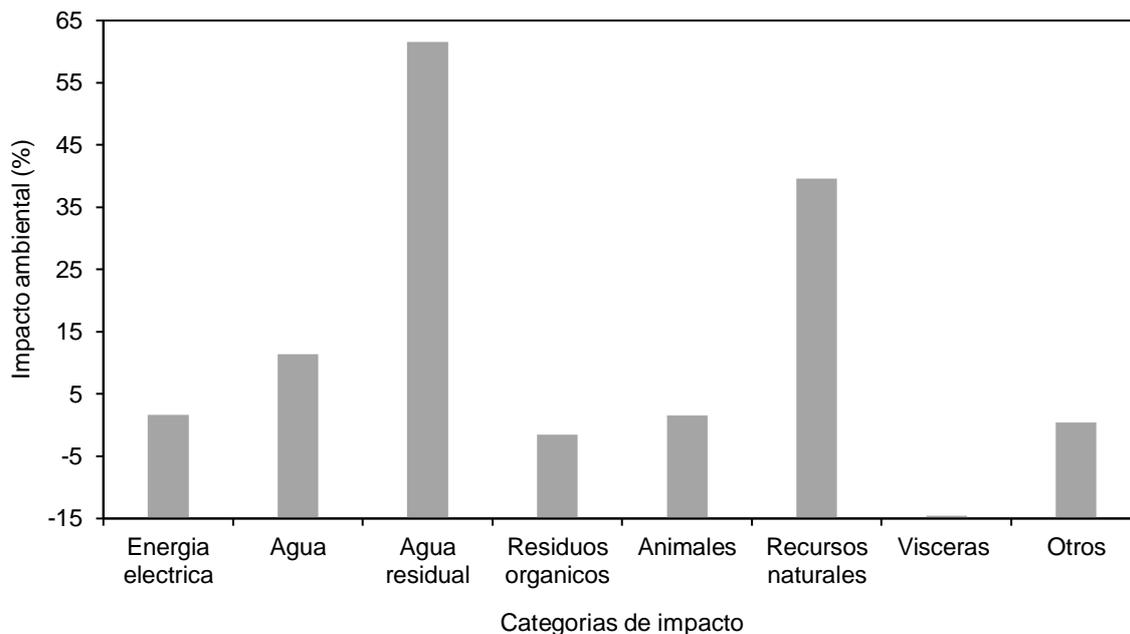


Fig. 3 Porcentaje representación por categorías para el sistema productivo completo

En este estudio el uso de energías alternativas como secado solar en el proceso de elaboración del alimento para las especies avícolas, genero una disminución significativa de las emisiones de CO₂ en dicha categoría, esto se debe a que la energía solar usada es una fuente abundante, renovable y gratuita, convirtiéndola en una de las alternativas más prometedoras para disminuir el impacto ambiental de los procesos de secado (Tiwari, 2016). Con respecto al proceso de disposición del agua residual, se observa que es la categoría con mayor impacto ambiental del sistema productivo (61%), fundamentalmente por la carga orgánica presente la cual genera una dificultad en el proceso de su disposición puesto que requiere mayor cantidad de oxígeno para su degradación, reduciendo la capacidad de esta para asimilar carga contaminante y restituir su calidad de forma natural (Quiroz et al., 2018). El aprovechamiento de residuos orgánicos tanto de la industria piscícola (visceras) como avícola (excretas), favorecen la reducción del impacto ambiental de forma directa, además de que se genera un valor agregado a los subproductos que repercute en la economía del proceso. El uso de recursos naturales para el cultivo de las materias primas e insumos necesarios para la elaboración de los alimentos tanto acuícolas como avícolas, representa la segunda fuente del impacto ambiental del sistema productivo con un 39,59%, principalmente por el hecho de que la soja es uno de los principales potenciadores de calentamiento global (GWP100) (Leinonen et al., 2012b).

CONCLUSIONES

El desarrollo productivo de las especies avícolas usadas en el presente estudio, no se ve afectado negativamente por el uso de ensilado químico de vísceras de tilapia roja (*Oreochromis Spp.*), como sustituto de fuentes proteicas convencionales. El impacto ambiental del sistema productivo el uso de recursos naturales para la elaboración de concentrados para las industrias acuícolas y avícolas y el tratamiento de aguas residuales son las principales fuentes de efectos adversos al ambiente, sin embargo, el aprovechamiento de subproductos de ambas industrias y la implementación de energías alternativas renovables y eficientes reducen significativamente la carga ambiental del proceso, además de generar productos con valor comercial.

AGRADECIMIENTOS

Los autores del presente trabajo agradecen a la Universidad de Antioquia y a COLCIENCIAS (proyecto 1115-745-58746) por el apoyo financiero brindado para su desarrollo.

NOTACION

Símbolos

FCM= Factor de corrección del metano
 COD= Carbono orgánico degradable
 COD_F= Carbono orgánico degradable no asimilada
 F= Fracción de metano en el gas de vertedero
 R= Fracción de metano recuperada
 OX= Factor de oxidación del metano
 PCG= Potencial de calentamiento global
 FF= Factor de fijación
 EE_G= Gasto de energía eléctrica
 EEE= Factor de emisión de CO₂ por Kw de energía
 VR_{C₃H₈}= Volumen de gas propano
 EB_P= Energía embebida producción de propano
 D_R= Distancia recorrida
 R_C= Rendimiento de combustible
 C= Carga de combustible
 EC= Emisiones de combustible
 FC_{C₃H₈}= Factor de conversión de gas propano
 FE_{C₃H₈}= Factor de emisión
 AL= Volumen de agua
 EB_a= Energía embebida del agua
 AR_L= Volumen de agua residual
 CO_{DBO5}= Demanda bioquímica de oxígeno del agua residual
 CMP_{CH4}= Capacidad máxima de producción de metano
 CR= Cantidad requerida de producto
 EB_{Pi}= Energía embebida en la fabricación
 C_i= Carga máxima en el transporte del producto

Abreviaciones

Subs= Subsistema
 EQ= Ensilado químico
 IA= Impacto ambiental
 IPCC= Intergovernmental Panel on Climate Change
 CO= Compuesto organico
 CRO= Cantidad de residuos organico

REFERENCIAS

- Ahmed, Z., y Wang, Z., Investigating the impact of human capital on the ecological footprint in India: An empirical analysis. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05911-7>, Environ. Sci. Pollut. Res., 26(26), 26782–26796 (2019)
- Al-Marzooqi, W., Al-Farsi, M. A., y otros tres autores., The effect of feeding different levels of sardine fish silage on broiler performance, meat quality and sensory characteristics under closed and open-sided housing systems. <https://doi.org/10.5713/ajas.2010.10119>, Asian-Aust. J Anim Sci., 23(12), 1614–25 (2010)
- Boitai, S. S., Lakshman, K. B., y otros cinco autores., Effect of dietary incorporation of fish silage on growth performance, serum biochemical parameters and carcass characteristics of broiler chicken. <https://doi.org/10.18805/ijar.B-3315>, Indian J. Anim. Res., 52(7), 1005–9 (2018)
- Camaño, J. A., Rivera, A. M., y Zapata, J. E. Efecto del espesor de película y de la ubicación de la muestra en un secador solar directo, sobre la cinética de secado de ensilado de vísceras de tilapia roja (*Oreochromis* sp). <https://doi.org/10.4067/s0718-07642020000100053>, Inf. Tecnol., 31(1), 53–66 (2020)
- Gomez, G., Ortiz, M., y otros dos autores., Evaluación del ensilaje de vísceras de tilapia roja (*Oreochromis* Spp) en alimentación de pollos de engorde. biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial, 12(1), 106–14 (2014)
- Gwehenberger, G., y Narodoslawsky, M., The sustainable process index SPI as an engineer's tool for environmental impact assessment of processes: The sugar industry as a case study. <https://doi.org/10.2495/SDP070321>, WIT Trans. Ecol. Environ., 102, 333–340 (2007)
- Gwehenberger, G., y Narodoslawsky, M., The ecological impact of the sugar sector- Aspects of the change of a key industrial sector in Europe. [https://doi.org/10.1016/S1570-7946\(07\)80196-9](https://doi.org/10.1016/S1570-7946(07)80196-9), Comput. Aided Chem. Eng., 24, 1029–1034 (2007)

- Henriksson, P., Rico, A., y otros dieciocho autores., Comparison of Asian aquaculture products by use of statistically supported life cycle assessment. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b04634>, *Environ. Sci. Technol.*, 49(24), 14176–14183 (2015)
- Ibidhi, R., Hoekstra, A., y otros dos autores., Water, land and carbon footprints of sheep and chicken meat produced in Tunisia under different farming systems. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.02.022>, *Ecol. Indic.*, 77, 304–313 (2017)
- IDEAM. Inventario nacional y departamental de gases de efecto invernadero – Colombia. (<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023634/INGEI.pdf>) (2016)
- IPCC. Directrices para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero - Eliminación de desechos sólidos - Capítulo 3. (2006)
- Jóhannesson, S., Davíðsdóttir, B., y Heinonen, J., Standard ecological footprint method for small, highly specialized economies. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.11.034>, *Ecol. Econ.*, 146(December 2016), 370–380 (2018)
- Kjos, N., Herstad, O., y otros dos autores., Effects of dietary fish silage and fish fat on performance and egg quality of laying hens. <https://doi.org/10.4141/A00-086>, *Can. J. Anim. Sci.*, 81(2), 245–251 (2001)
- Krotscheck, C., y Narodoslawsky, M., The sustainable process index. A new dimension in ecological evaluation. [https://doi.org/10.1016/0925-8574\(95\)00060-7](https://doi.org/10.1016/0925-8574(95)00060-7), *Ecol. Eng.*, 6(4), 241–258 (1996)
- Leinonen, I., Williams, A. G., y otros tres autores., Predicting the environmental impacts of chicken systems in the United Kingdom through a life cycle assessment: Broiler production systems. <http://dx.doi.org/10.3382/ps.2011-01634>, *Poult. Sci. J.* 91 (8-25) (2012)
- Leinonen, I., Williams, A. G., y otros tres autores., Predicting the environmental impacts of chicken systems in the united kingdom through a life cycle assessment: Egg production systems. <https://doi.org/10.3382/ps.2011-01635> *Poult. Sci. J.* 91 26–40 (2012b)
- Malakahmad, A., Abualqumboz, M., y otros dos autores., Assessment of carbon footprint emissions and environmental concerns of solid waste treatment and disposal techniques; case study of Malaysia. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.08.044>, *Waste Manage.*, 70, 282–292 (2017)
- Mamouni, E., Ghadouani, A., y otros dos autores., Giving the consumer the choice: A methodology for Product Ecological Footprint calculation. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.04.020>, *Ecol. Econ.*, 68(10), 2525–2534 (2009)
- Martínez-Alvarez, O., Chamorro, S., y Brenes, A., Protein hydrolysates from animal processing by-products as a Source of bioactive molecules with interest in Animal feeding: A review, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.04.005>, *Food Res. Int.*, 73 (1069) 204–212 (2015)
- Perez, M., Noguerol, R., y otros tres autores., Evaluation of environmental impact of two ready-to-eat canned meat products using Life Cycle Assessment. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.05.031>, *J. Food Eng.*, 237(May), 118–127 (2018)
- Quiroz, L., Izaquierod, E., y Menéndez, C., Estudio del impacto ambiental del vertimiento de aguas residuales sobre la capacidad de autodepuración del río Portoviejo, Ecuador. *Centro Azúcar*, 45(01), 73–83 (2018).
- Rosero, J. Ferney, E., y Lopez, F., Evaluación del comportamiento productivo de las líneas de pollos de engorde Cobb 500 Y Ross 308. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 10(1):8–15. (2012).
- Sharif, A., Baris-Tuzemen, O., y otros tres autores., Revisiting the role of renewable and non-renewable energy consumption on Turkey's ecological footprint: Evidence from Quantile ARDL approach. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102138>, *Sustain. Cities Soc.*, 57(August 2019), 102138 (2020)
- Skunca, D., Tomasevic, I., y otros tres autores., Life cycle assessment of the chicken meat chain. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.274>, *J. Clean. Prod.*, 184, 440–450 (2018)
- Suarez, L. M., Montes, J. R., y Zapata, J. E. Optimización del contenido de ácidos en ensilados de vísceras de tilapia Roja (*Oreochromis spp.*) con análisis del ciclo de vida de los alimentos derivados, <https://doi.org/10.4067/s0718-07642018000600083>, *Inf. Tecnol.*, 29(6), 83–94 (2018)
- Syrovátka, M., On sustainability interpretations of the Ecological Footprint. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.106543>, *Ecol. Econ.*, 169(December 2019), 106543 (2020)
- Tian, M., Gao, J., y otros dos autores., The study on the ecological footprint of rural solid waste disposal-example in Yuhong district of shenyang. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2012.10.013>, *Procedia Environ. Sci. Eng. Manag.*, 16(0), 95–101 (2012)
- Tiwari, A., A review on solar drying of agricultural produce. <https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000623>, *J. Food Process. Preserv.*, 7(9) (2016)
- Wackernagel, M., y Rees, W., Review: Our ecological footprint: reducing human impact on the Earth., New Society Publishers., 160 (1996)